

**С.В. ГУДКОВ, С.И. ДВОРЕЦКИЙ, С.Б. ПУТИН, В.П. ТАРОВ**

**ИЗОЛИРУЮЩИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ  
И ОСНОВЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
2008**

**С.В. ГУДКОВ, С.И. ДВОРЕЦКИЙ, С.Б. ПУТИН, В.П. ТАРОВ**

# **ИЗОЛИРУЮЩИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И ОСНОВЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 280100 «Безопасность жизнедеятельности».*

Москва  
«Машиностроение»  
2008

УДК 623.459.64(075)  
ББК Л11-5-05я73-5  
ИЗ8

Р е ц е н з е н т ы:

Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации,  
доктор химических наук, профессор ***В.И. Вигдорович***

Доктор технических наук, профессор  
***С.А. Нагорнов***

ИЗ8      Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие / С.В. Гудков, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, В.П. Таров. – М.: Машиностроение, 2008. – 188 с.  
ISBN 978-5-94275-440-2

Изложены основные понятия и методика расчета и конструирования автономных дыхательных аппаратов – средств индивидуальной защиты органов дыхания человека в системах жизнеобеспечения. Подробно освещены общие требования к изолирующим дыхательным аппаратам и современные подходы к их конструированию, приведены практические примеры конструкций подобных аппаратов.

Предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по направлению 280100 «Безопасность жизнедеятельности», а также будет полезным инженерно-техническим работникам промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций, занимающихся разработкой и совершенствованием подобных аппаратов.

УДК 623.459.64(075)  
ББК Л11-5-05я73-5

ISBN 978-5-94275-440-2

© Гудков С.В., Дворецкий С.И., Путин С.Б.,  
Таров В.П., 2008

**Учебное издание**

**Гудков Сергей Владимирович,  
Дворецкий Станислав Иванович,  
Путин Сергей Борисович,  
Таров Владимир Петрович**

# **ИЗОЛИРУЮЩИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И ОСНОВЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Учебное пособие**

**Редактор З.Г. Чернова  
Корректор О.М. Гурьянова  
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova**

Сдано в набор 12.11.2008 г. Подписано в печать 27.11.2008 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 11,0.  
Тираж 400 экз. Заказ 541

ООО «Издательство Машиностроение», 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Подготовлено к печати и отпечатано в Издательско-полиграфическом центре  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

По вопросам приобретения книги обращаться по телефону 8(4752)63-81-08  
E-mail: [izdatelstvo@admin.tstu.ru](mailto:izdatelstvo@admin.tstu.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

В современной жизни, на производстве и в быту возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся образованием вредной или непригодной для дыхания атмосферы. В этом случае основным способом для обеспечения жизнедеятельности человека является применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

Область применения СИЗОД чрезвычайно широка. Они используются:

- работниками промышленных предприятий, транспорта, шахт, рудников при выполнении регламентных работ, связанных с обслуживанием технологического процесса, а также при выполнении ремонтных работ, проведении первичных мероприятий по предотвращению развития аварий и эвакуации из аварийной зоны;
- гражданским населением, оказавшимся в непригодной для дыхания атмосфере, образовавшейся в результате аварий, пожаров, стихийных бедствий, террористических актов;
- аварийно-спасательными формированиями предприятий промышленности, Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС), а также горно- и газоспасателями, выполняющими задачи по ликвидации последствий аварий на промышленных предприятиях;
- подразделениями пожарных служб, выполняющими задачи по тушению пожаров;
- личным составом Министерства Обороны и других силовых структур.

Учебное пособие подготовлено совместно преподавателями ТГТУ и научными сотрудниками ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

Настоящее учебное пособие предназначено для изучения одного из основных классов СИЗОД – изолирующих дыхательных аппаратов (ИДА) с химически связанным кислородом, для овладения теоретическими основами и методологией защиты органов дыхания человека в непригодной для дыхания атмосфере, овладения подходами к конструированию ИДА, ознакомления с основными этапами работ и технологиями, применяемыми при изготовлении дыхательных аппаратов. Для сравнения приводится описание других типов изолирующих дыхательных аппаратов. При подготовке учебного пособия авторы широко использовали опыт головной организации ОАО «Корпорация «Росхимзащита» (г. Тамбов) – ведущего предприятия в России по разработке и серийному производству ИДА с химически связанным кислородом.

При использовании дыхательных аппаратов объектом защиты является человек, поэтому в пособии приведены краткие сведения из физиологии его дыхания, а также оценка воздействия на человека неблагоприятных факторов окружающей среды и воздушной смеси, поступающей в органы дыхания при использовании аппаратов.

## 1. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОНОМНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

### 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Автономные индивидуальные дыхательные аппараты* – аппараты, обеспечивающие подачу дыхательной смеси из собственного источника, находящегося при человеке, или очистку вдыхаемого воздуха при помощи элементов, входящих в состав аппарата. Это позволяет человеку, включенному в автономный аппарат, перемещаться в любом направлении.

Автономные дыхательные аппараты входят в состав средств индивидуальной защиты органов дыхания. В соответствии с ГОСТ 12.4.034–2001 все существующие СИЗОД по принципу действия разделяются на две группы: фильтрующие, зависящие от окружающей среды, и изолирующие, не зависящие от окружающей среды (рис. 1).

В *фильтрующих* средствах защиты органов дыхания очистка вдыхаемого воздуха от вредных веществ (газов, аэрозолей, пыли) происходит при его прохождении через фильтрующий патрон или фильтрующий материал. Фильтрующие СИЗОД (рис. 2) в зависимости от фильтруемого компонента делятся на:

*противоаэрозольные* – для защиты от различных аэрозолей (дымы, туманы, пыли);

*противогазовые* – для защиты от газообразных веществ;

*противогазоаэрозольные* – для применения в условиях одновременного содержания в воздухе газов, паров и аэрозолей различных веществ.

Принципиальная схема фильтрующего автономного дыхательного аппарата приведена на рис. 3.

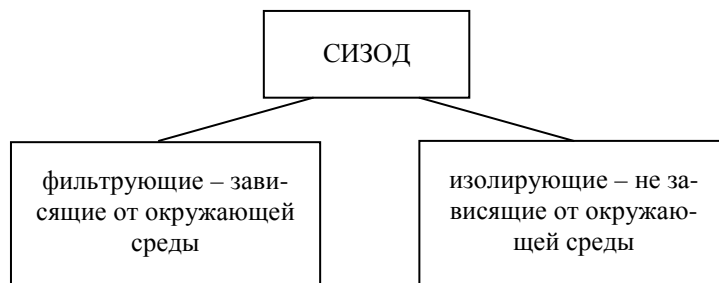
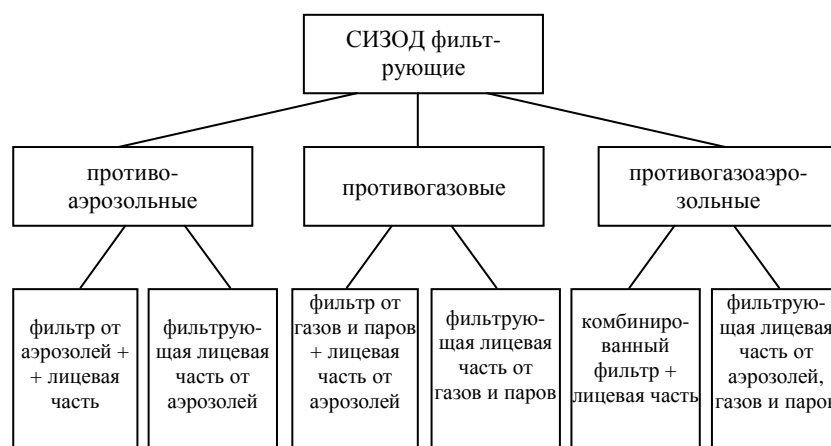
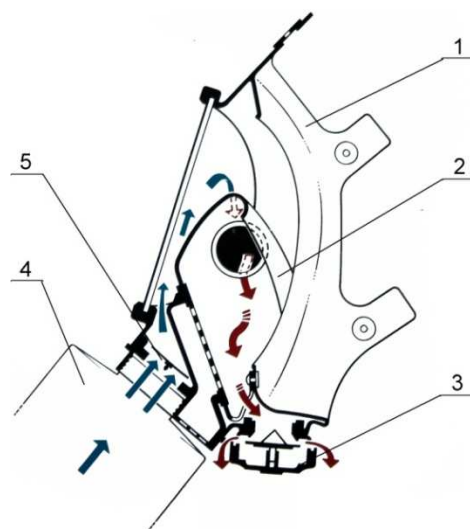


Рис. 1. Деление СИЗОД по степени зависимости от окружающей среды



**Рис. 2. Деление фильтрующих СИЗОД в зависимости от фильтруемого компонента**



**Рис. 3. Принципиальная схема фильтрующего СИЗОД:**  
 1 – лицевая часть; 2 – подмасочник; 3 – клапан выдоха;  
 4 – патрон фильтрующий; 5 – клапан вдоха

Фильтрующее СИЗОД обычно состоит из лицевой части 1, предназначенной для подвода очищенного воздуха к органам дыхания, с подмасочником 2, предназначенным для снижения содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе за счет создания замкнутого пространства с минимальным объемом, клапана выдоха 3, предназначенного для выброса выдыхаемого воздуха в атмосферу, патрона фильтрующего 4, в котором происходит очистка вдыхаемого воздуха от вредных примесей, и клапана вдоха 5. При вдохе вдыхаемый воздух из атмосферы попадает через клапан вдоха 5 и патрон фильтрующий 4 в подмасочник 2 и далее в органы дыхания пользователя. Выдыхаемый воздух через подмасочник 2 и клапан выдоха 3 попадает в атмосферу.

Фильтрующие средства защиты по эффективности защиты подразделяются на классы, согласно ГОСТ 12.034–2001:

- низкой эффективности;
- средней эффективности;
- высокой эффективности.

Фильтрующие средства *низкой эффективности* предназначены для использования при содержании в воздухе вредных примесей до 10...15 предельно допустимых концентраций (ПДК) и, в основном, применяются при проведении регламентных работ.

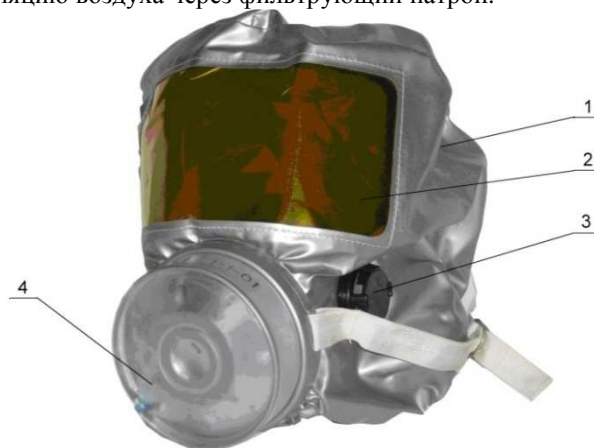
Фильтрующие средства *средней эффективности* предназначены для защиты пользователя при содержании в воздухе вредных примесей 10...100 ПДК и применяются для проведения регламентных работ и для эвакуации с места аварии.

Фильтрующие средства *высокой эффективности* предназначены для использования при содержании в воздухе вредных примесей более 100 ПДК и применяются при проведении регламентных работ в течение ограниченного времени, а также для выполнения работ по предотвращению развития аварий.

Принцип действия фильтрующих СИЗОД определяет основные условия их применения: их можно использовать только при объемной доле кислорода в окружающем воздухе не менее 17...18 % и при ограниченном и известном содержании вредных веществ [1]. Фильтрующие средства защиты нельзя применять при работах в труднодоступных помещениях малого объема, замкнутых пространствах, а также в тех случаях, когда природа и количество вредных веществ в окружающем воздухе неизвестно.

По исполнению фильтрующие СИЗОД можно разделить на аппараты, содержащие фильтрующий патрон в комплекте с лицевой частью (рис. 4), или аппараты с лицевой частью, изготовленной из фильтрующего материала, на котором происходит очистка вдыхаемого воздуха от вредных веществ. Фильтрующие СИЗОД могут быть оснащены вентиляторами, обеспе-

чивающими принудительную вентиляцию воздуха через фильтрующий патрон.

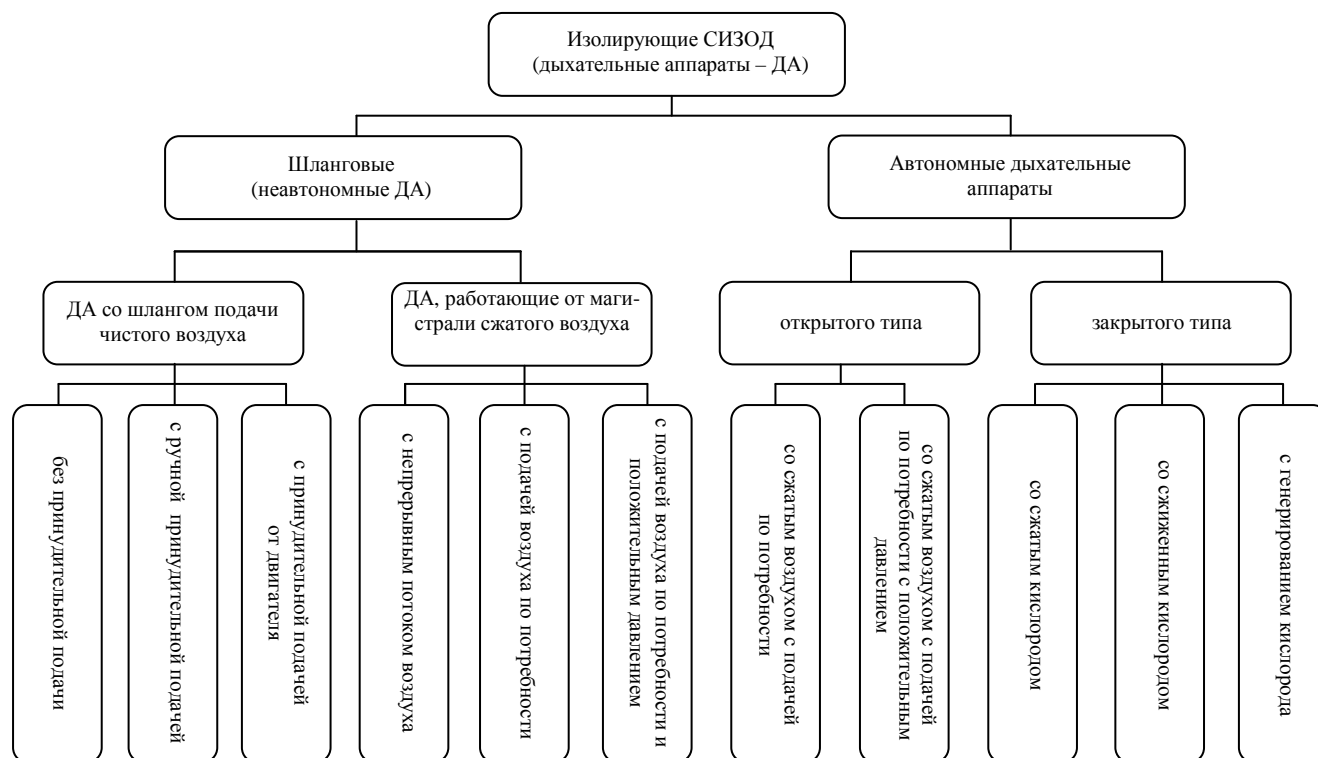


**Рис. 4. Фильтрующее СИЗОД с фильтрующим патроном:**  
1 – колпак с полумаской; 2 – смотровое окно; 3 – клапан выдоха;  
4 – патрон фильтрующий

Для фильтрующих СИЗОД сложилась определенная терминология, характеризующая различные типы этих средств [1]. В зависимости от конструктивного исполнения различают фильтрующие респираторы, самоспасатели и противогазы. Фильтрующие *респираторы* представляют собой облегченное средство для защиты органов дыхания от вредных газов, паров и аэрозолей и состоят из полумаски, на которой монтируются сменные фильтрующие патроны; в ряде случаев сама полумаска является фильтрующим элементом. Отличительной чертой фильтрующих *самоспасателей* является их назначение – однократное использование только для эвакуации из загазованной зоны. В состав же фильтрующих *противогазов* входит маска или шлем-маска, на которую крепится фильтрующий элемент.

Фильтрующие СИЗОД по сути являются автономными средствами защиты органов дыхания. Однако в связи с тем, что предметом изучения в настоящем учебном пособии являются изолирующие средства защиты, термин «автономный дыхательный аппарат» в дальнейшем относится только к ИДА.

*Изолирующие СИЗОД* изолируют органы дыхания человека от окружающей среды, а воздух для дыхания поступает из чистой зоны или источника дыхательной смеси, являющегося составной частью изолирующих средств индивидуальной защиты органов дыхания [1] (рис. 5). Благодаря этому изолирующие СИЗОД обеспечивают наиболее универсальную защиту органов дыхания. Они могут применяться в условиях недостатка кислорода или чрезвычайной загазованности, а также при неизвестном составе загрязняющих воздух примесей.



**Рис. 5. Деление изолирующих СИЗОД**

Автономные изолирующие дыхательные аппараты классифицируются по:

- назначению;
- способу создания атмосферы для дыхания.

По назначению изолирующие СИЗОД разделяются на средства:

- предназначенные для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ (в дальнейшем называемых «для аварийных работ»);
- используемые для эвакуации из мест с непригодной для дыхания атмосферой (для них в технической литературе принято название «самоспасатели»).

По способу создания атмосферы для дыхания изолирующие дыхательные аппараты делятся на резервуарные и регенеративные.

В *резервуарных* аппаратах весь необходимый для вдоха запас воздуха находится в сжатом состоянии, а выдох осуществляется в атмосферу. Такая схема дыхания называется открытой.

Резервуарные изолирующие СИЗОД открытого типа в свою очередь разделяются на СИЗОД со сжатым воздухом:

- с избыточной подачей;
- с подачей по потребности.

В *регенеративных* аппаратах пригодная для дыхания атмосфера создается за счет регенерации (или восстановления состава дыхательной смеси до требуемых параметров) выдыхаемого человеком воздуха путем поглощения из него диоксида углерода и паров воды и добавления кислорода в объеме, необходимом для дыхания. Такую схему дыхания называют закрытой.

Изолирующие СИЗОД закрытого типа по способу резервирования кислорода разделяются на аппараты:

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

## 1.2. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОНОМНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Изолирующие СИЗОД благодаря своей универсальности по токсичным веществам различной природы и высоким защитным характеристикам широко используются в мировой практике для обеспечения экстренной защиты при внезапном формировании атмосферы, непригодной для дыхания, а также для проведения аварийных работ в условиях высоких концентраций токсичных продуктов и при недостатке кислорода в атмосфере.

В зависимости от принципа действия, эти аппараты отличаются по массе, габаритам, физиолого-гигиеническим и эксплуатационным характеристикам, стоимости. Выбор типа дыхательных аппаратов для конкретной ситуации производится с учетом особенностей эксплуатации и назначения изделия.

### 1.2.1. Изолирующие дыхательные аппараты со сжатым воздухом

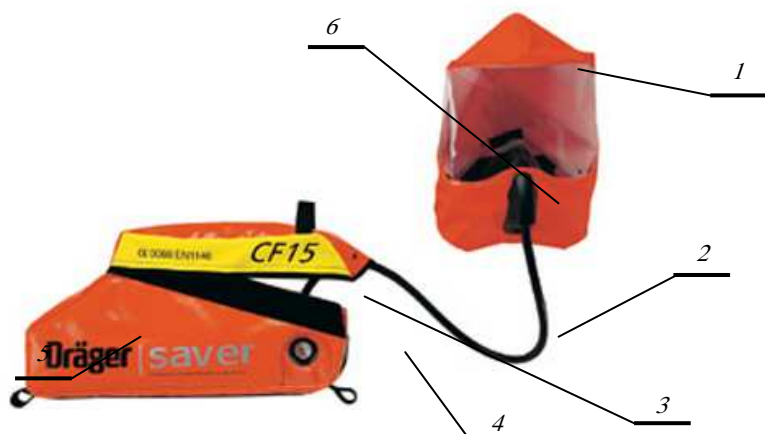
Изолирующие дыхательные аппараты *со сжатым воздухом* являются резервуарными средствами, в которых запас дыхательной смеси, поступающей на вдох, находится в баллоне, а выдох осуществляется в атмосферу. Примеры таких аппаратов приведены на рис. 6 и 7.

Автономный дыхательный аппарат со сжатым воздухом *с избыточной подачей* состоит из лицевой части 1, служащей для изоляции органов дыхания от окружающей среды и присоединения источника воздуха к органам дыхания человека, а также из дыхательного шланга 2, предназначенного для подачи воздуха из баллона со сжатым воздухом 5, редуктора (дюзы) 3, обеспечивающего необходимый расход воздуха из баллона, клапана избыточного давления (КИД) 6, служащего для сброса избытка воздуха в атмосферу, и манометра 4, показывающего запас воздуха в баллоне. Вдох и выдох осуществляется в лицевую часть, при этом выдыхаемые человеком диоксид углерода и пары воды удаляются через КИД вместе с воздухом, подаваемым под лицевую часть из баллона.

Для полного удаления диоксида углерода, выдыхаемого человеком, расход воздуха из баллона должен составлять величину не менее 45...60 дм<sup>3</sup>/мин. Представленная конструкция отличается простотой, но крайне неэкономична из-за того, что большая часть воздуха тратится не на дыхание, а сбрасывается в атмосферу. Это ведет к значительной массе аппарата, поэтому по схеме с избыточной подачей сконструировано ограниченное число дыхательных аппаратов, в основном, это самоспасатели с временем защитного действия (ВЗД) до 10 минут, не предназначенные для постоянного ношения.

Автономный дыхательный аппарат со сжатым воздухом *с подачей по потребности* (рис. 7) состоит из лицевой части 1, служащей для изоляции органов дыхания от окружающей среды и присоединения источника воздуха к органам дыхания человека, с подмасочником 2, предназначенным для создания замкнутого пространства с минимальным объемом, на который монтируется легочный автомат 6, предназначенный для подачи воздуха в органы дыхания по потребности, а также из дыхательного шланга 5, предназначенного для подачи воздуха из баллона со сжатым воздухом 4, редуктора 7, обеспечивающего необходимое давление на вход в легочный автомат, манометра 3, показывающего запас





**Рис. 6. Автономный дыхательный аппарат со сжатым воздухом с избыточной подачей:**

1 – лицевая часть; 2 – дыхательный шланг; 3 – баллон со сжатым воздухом и редуктором; 4 – манометр; 5 – футляр для хранения; 6 – клапан избыточного давления



**Рис. 7. Автономный дыхательный аппарат со сжатым воздухом с подачей по потребности:**

1 – лицевая часть; 2 – подмасочник; 3 – манометр; 4 – баллон со сжатым воздухом; 5 – шланг; 6 – легочный автомат; 7 – редуктор воздуха в баллоне. Легочный автомат устроен таким образом, что при вдохе открывается мембрана и в органы дыхания поступает объем воздуха, необходимый для дыхания, а при выдохе через специальный клапан выдыхаемый воздух сбрасывается в атмосферу. Такая схема хотя и более сложна конструктивно по сравнению с предыдущей, но обеспечивает существенно более экономное использование воздуха и приемлемую массу аппарата.

В настоящее время автономные дыхательные аппараты со сжатым воздухом составляют более 60 % от числа продаваемых дыхательных аппаратов. Время защитного действия таких аппаратов составляет от пяти минут до двух часов. Аппараты с малым временем защитного действия (5...10 мин) используются как аварийные средства для эвакуации при работе в шланговых аппаратах, работающих от магистрали сжатого воздуха. Аппараты со временем защитного действия до 30 мин используются в качестве самоспасателей, а со временем защитного действия более 30 мин – в качестве рабочих аппаратов в пожарной и газоспасательной службах.

На рынке изолирующих аппаратов со сжатым воздухом предлагают свою продукцию следующие фирмы: АО Кампо (Россия); НПО Респиратор, ДЗГА (Украина); Sabre Safety Limited, Siebe Gorman & Co. Ltd., Racal Health & Safety Limited (Великобритания); Dräger Sicherheitstechnik GmbH, Auergesellschaft GmbH (Германия); ArSiMa (Дания); Faser S.A. (Польша); Interspiro (Швеция); Survivair, Comminhes Remco (обе – Bacou Groupe, Франция), Scott Aviation Co, MSA (США); Sperian Protection, Fernex (обе – Bacou Groupe, Франция).

Ряд зарубежных фирм специализируются на выпуске высокопрочных и легковесных композитных воздушных баллонов, рассчитанных на рабочее давление 300 атм и на давление разрушения до 450 атм. К числу таких фирм относятся: EFIC Limited (Великобритания), EFI Corporation (США), Luxfer Gas Cylinders (Великобритания), Siebe Gorman & Co. Ltd. (Великобритания).

Сравнительные характеристики некоторых аппаратов со сжатым воздухом приведены в табл. 1.

Дыхательные аппараты со сжатым воздухом являются СИЗОД многоразового пользования при условии перезарядки баллонов сжатым воздухом. Их возрастающая распространенность обусловлена, прежде всего, созданием и внедрением в производство баллонов из сверхлегких композитных материалов, рассчитанных на рабочее давление до 30 МПа, а в некоторых случаях и выше. Основными достоинствами этих аппаратов является то, что условия дыхания в них близки к естественным: дыхательная смесь имеет оптимальную объемную долю кислорода – 21 %, объемная доля диоксида углерода на вдохе минимальна и постоянна в течение всего времени защитного действия аппарата, температура вдыхаемого воздуха практически равна температуре

## 1. Сравнительные характеристики аппаратов со сжатым воздухом

Показатели	Наименование дыхательных аппаратов		
	ВД 96Германия	АИР-94-327Россия	АИР-98МИРоссия
Габариты, мм:			
длина	650		
ширина	320		
высота	215		
Масса, кг	16,9	16,0	17,5
Время защитного действия при нагрузке средней тяжести, ч	2	2	2
Удельное время защитного действия, мин/кг	7,10	7,50	6,86
Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС, %, не более	–	1,0	1,0
Объемная доля кислорода во вдыхаемой ГДС, %, не менее	21	21	21
Сопротивление дыханию, мм вод. ст., не более (вдох/выдох)	15/20	15/20	15/20
Температура вдыхаемой ГДС, °С, не более	–	25	25
Наличие индикации начала и окончания работы	Имеется	Имеется	Имеется
Температура эксплуатации, °С	–20...+60	–20...+60	–20...+60

окружающего воздуха. В конструкции аппарата довольно легко добиться положительного давления при вдохе, что значительно увеличивает степень изоляции органов дыхания от окружающей среды. Наличие манометра как полностью достоверного индикатора степени использования защитной способности аппарата, снабженного предупреждающим сигнализатором о ее исчерпании, гарантирует безопасность эксплуатации.

Главным недостатком таких аппаратов является неэкономный расход воздуха из баллонов, основное количество которого просто выбрасывается в атмосферу. Следствием этого является малое удельное время защитного действия, т.е. ВЗД, отнесенное к единице массы аппарата (2...8 мин/кг), поэтому при равном времени работы дыхательные аппараты со сжатым воздухом имеют существенно большую массу по сравнению с аппаратами со сжатым и химически связанным кислородом. Из-за ограничений по массе максимально возможное время защитного действия аппаратов со сжатым воздухом при нагрузке средней тяжести, как правило, не превышает 1,0...1,5 часа. К недостаткам, особенно для потребителей небольшого количества аппаратов, можно также отнести необходимость иметь достаточно дорогое компрессорное оборудование для заполнения и подкачки баллонов сжатым газом, а также развитое сервисное хозяйство для периодических проверок аппаратов при эксплуатации.

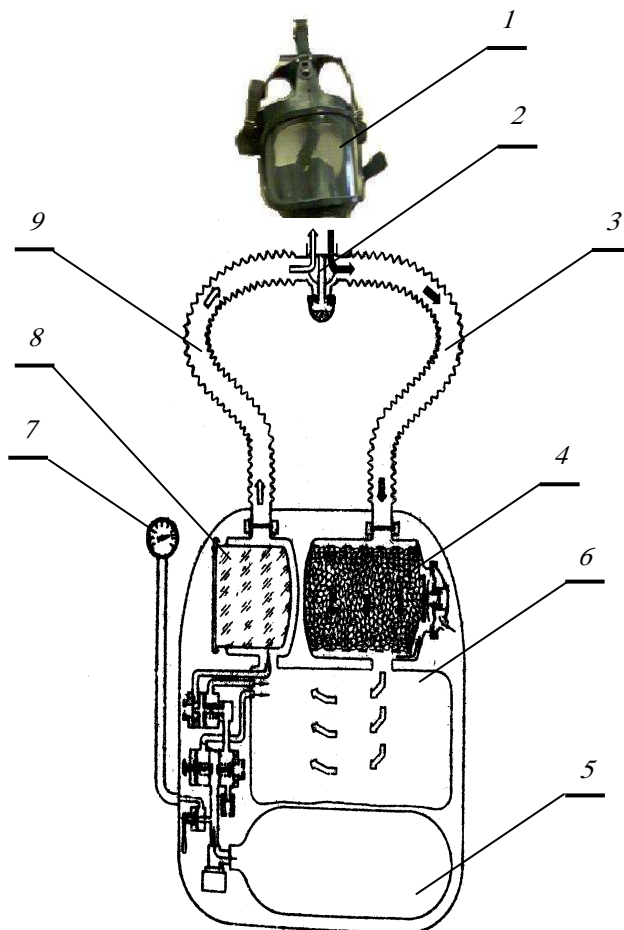
### 1.2.2. Изолирующие дыхательные аппараты со сжатым кислородом

Аппараты со сжатым кислородом и замкнутой схемой дыхания относятся ко второй группе СИЗОД. Принципиальная схема таких аппаратов представлена на рис. 8.

Автономный дыхательный аппарат со сжатым кислородом состоит из лицевой части 1, служащей для изоляции органов дыхания от окружающей среды и присоединения источника воздуха к органам дыхания человека, с подмасочником, предназначенным для создания замкнутого пространства с минимальным объемом. Клапанная коробка 2 предназначена для организации движения газовой дыхательной смеси (ГДС) внутри аппарата по круговой схеме: выдыхаемый воздух попадает в поглотительный патрон 4, снаряжаемый сорбентом на основе гидроксида кальция или натрия, где очищается от диоксида углерода, и поступает в дыхательный мешок 5, представляющий собой эластичную емкость для ГДС, поступающей далее в лицевую часть 1 на вдох. Процесс поглощения диоксида углерода в поглотительном патроне сопровождается выделением тепла, а ГДС в зависимости от типа используемого сорбента может как обогащаться, так и обедняться водой.

В дыхательном мешке 5 к ГДС, очищенной в поглотительном патроне 4, добавляется кислород из баллона 6. Клапан избыточного давления, вмонтированный в дыхательный мешок 5, служит для удаления избытка ГДС из дыхательной системы и действует в конце выдоха.

Поскольку в кислороде, подаваемом из баллона 6, имеется примесь азота, который может накапливаться в дыхательной смеси, в изолированной дыхательной системе аппарата возможно повышение объемной доли азота выше допустимой (так



**Рис. 8. Принципиальная схема автономного дыхательного аппарата со сжатым кислородом:**

1 – лицевая часть; 2 – клапанная коробка; 3, 9 – дыхательные шланги; 4 – поглотительный патрон; 5 – баллон со сжатым кислородом; 6 – дыхательный мешок; 7 – манометр; 8 – холодильник

дыхательной системы). Во избежание заазотирования, в конструкции аппарата предусмотрена дополнительная подача кислорода из баллона 6 через аварийный клапан; такую подачу пользователь должен периодически осуществлять самостоятельно. При этом газовая смесь с повышенным содержанием азота из дыхательного контура сбрасывается в атмосферу.

При вдохе ГДС поступает в органы дыхания через холодильник 8, служащий для снижения температуры вдыхаемого воздуха, и клапанную коробку 2.

Автономные дыхательные аппараты со сжатым кислородом являются аппаратами многоразового действия при условии заправки баллонов и замены поглотителя. Они наиболее часто применяются при проведении аварийно-спасательных и ремонтных работ и характеризуются высоким удельным временем защитного действия (18...22 мин/кг). Время работы таких аппаратов при близкой массе превосходит ВЗД дыхательных аппаратов со сжатым воздухом и составляет 1...4 ч. Рядом зарубежных фирм выпускаются также самоспасатели со сжатым кислородом с временем защитного действия 10...60 мин.

Среди фирм-производителей изолирующих аппаратов на сжатом кислороде, кроме уже упоминавшихся зарубежных фирм, дыхательные аппараты этого типа производят фирмы Faser S.A. (Польша), Ocenco Incorporated (США), Biomarine (США), MSA (США), Scott Aviation (США), Survivair (Bacou Groupe, США), Siebe Gorman & Co. Ltd. (Великобритания), Sabre Safety Limited (Великобритания), Kawasaki Safety Service, а также ряд российских предприятий в городах Орехово-Зуево, Новомосковск и Екатеринбург.

Из числа аппаратов со сжатым кислородом на рынке присутствуют аппараты BG 4 EP, BioPak 60, BioPak 240, LP 120, Model Mark 10 и др.

Принципиально новым по конструкции и по своим техническим возможностям является аппарат Tramix фирмы Dräger Sicherheitstechnik GmbH на основе сжатой газовой смеси, содержащей около 40 % об. кислорода и 60 % об. азота. Работа этого аппарата управляется электронным блоком, обеспечивающим подачу газовой смеси в дыхательный контур по специально рассчитанной циклограмме, при этом на дыхание потребителя попадает газ, близкий по составу к атмосферному воздуху. Аналогичная газовая смесь (39 % об. кислорода) используется в аппаратах Litpac I и Litpac II фирмы Litton Life Support (США).

Сравнительные характеристики лучших образцов аппаратов со сжатым кислородом приведены в табл. 2.

Основными достоинствами аппаратов со сжатым кислородом являются: достаточно экономное расходование запаса кислорода, благоприятные условия дыхания, постоянная готовность к применению, возможность работы в аппарате отдельными периодами (в случае использования поглотительного патрона с известковым поглотителем) с выключением и последующим включением без потери общего времени защитного действия, возможность осуществления постоянного контроля за расходом кислорода. К настоящему времени накоплен богатый опыт разработки, промышленного выпуска и применения аппаратов со сжатым кислородом, благодаря чему их конструкция достаточно совершенна и весьма надежна.

## 2. Сравнительные характеристики аппаратов со сжатым кислородом

Показатели	Наименование дыхательных аппаратов					
	Р-30 Украина	Р-35 Украина	BG-4-EP Германия	Tramix Германия	BioPak-240 США	Урал-7 Россия
Габариты, мм:						
длина	450	460	595	595	620	470
ширина	375	385	450	450	396	340
высота	170	175	145	177	187	140
Масса, кг	12,4	12,7	13,5	13,2	19,1	14,0
Время защитного действия при нагрузке средней тяжести, ч	4	4	4	2	4	5
Удельное время защитного действия, мин/кг	19,35	18,10	17,78	9,10	12,57	21,43
Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС, %, не более	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
Объемная доля кислорода во вдыхаемой ГДС, %, не менее	>80	>80	>80	40	>80	>80
Сопротивление дыханию, мм вод. ст., не более (вдох/выдох)	20/30	20/30	30/40	–	30/40	30/40
Температура вдыхаемой ГДС, °С, не более	40	40	40	–	36	38
Наличие индикации начала и окончания работы	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
Температура эксплуатации, °С	–20...+60	–20...+60	–20...+60	–	0...+30	–20...+60

К недостаткам аппаратов со сжатым кислородом можно отнести:

- сложность в изготовлении и настройке кислородоподающей системы, включающей большое число узлов и деталей;
- необходимость периодической промывки воздухопроводной системы кислородом для предотвращения азотирования газовой дыхательной смеси, что приводит к снижению экономичности использования запаса кислорода и к повышению объемной доли кислорода во вдыхаемой ГДС до 80...95 %. Сразу отметим, что высокое содержание кислорода во вдыхаемой ГДС при длительном воздействии негативно сказывается на здоровье лиц, часто работающих в дыхательных аппаратах;
- манометр позволяет контролировать расходование кислорода, однако существует вероятность, что защитная способность поглотительного патрона будет исчерпана раньше;
- необходимость иметь довольно дорогое компрессорное оборудование для заполнения баллонов сжатым кислородом и развитое сервисное хозяйство для проверки качества аппаратов при эксплуатации.

### 1.2.3. Изолирующие дыхательные аппараты со сжиженным кислородом

Аппараты *со сжиженным кислородом* и замкнутой схемой дыхания относятся к третьей группе СИЗОД. В состав аппарата входит резервуар со сжиженным кислородом, поглотительный патрон, снаряжаемый щелочным поглотителем на основе гидроксида натрия или поглотителем на основе гидроксида кальция, дыхательный мешок, воздухопроводная система, лицевая часть.

Из одного литра жидкого кислорода образуется 850 л газообразного. Это в 4 раза больше, чем можно получить из одного литра газообразного сжатого до 20 МПа кислорода. Масса резервуара для жидкого кислорода меньше, чем баллона для сжатого газа, поскольку сжиженный газ в аппарате хранится при давлении, близком к атмосферному. Поэтому в аппарате с жидким кислородом создается значительный запас газа при относительно малом объеме резервуара и его небольшой массе.

Жидкий кислород в аппарате используется не только для обеспечения дыхания, но также как холодильный агент для создания комфортных микроклиматических условий дыхания. Главные достоинства аппаратов с жидким кислородом заключаются в обеспечении оптимальных микроклиматических условий дыхания как при нормальной, так и при высокой температуре окружающей среды, а также в простоте и надежности конструкции.

Для обеспечения нормальной эксплуатации подобных аппаратов у потребителя должен храниться и периодически пополняться запас жидкого кислорода в специальной емкости с вакуумной термоизоляцией; необходимы дьюаровские сосуды для транспортирования кислорода к месту применения, т.е. должно быть организовано специализированное и хорошо налаженное криогенное хозяйство, аналогичное компрессорному хозяйству для обслуживания аппаратов со сжатым кислородом. Существенным недостатком таких аппаратов является необходимость их снаряжения запасом кислорода непосредственно перед применением и сразу же обязательное использование всего времени защитного действия. Поэтому аппараты с жидким кислородом до настоящего времени не получили практического применения.

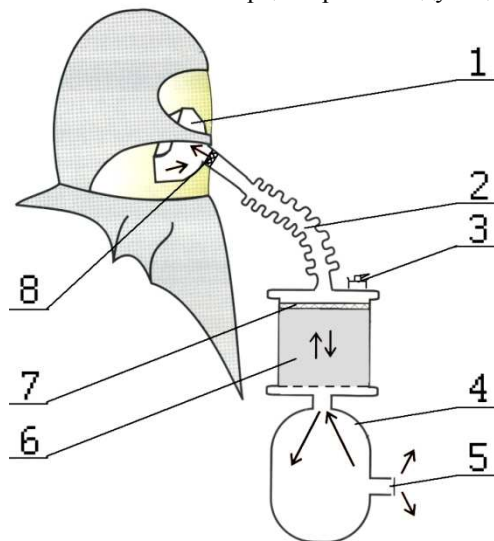
### 1.2.4. Изолирующие дыхательные аппараты с химически связанным кислородом

Четвертая группа – аппараты *с химически связанным кислородом* и замкнутой схемой дыхания. В этих аппаратах кислород, обеспечивающий процессы дыхания, находится в виде химических соединений на основе надпероксидов щелочных металлов.

Аппараты с химически связанным кислородом, в основном, конструируются по двум схемам: маятниковой и круговой схемам дыхания. Принципиальные схемы аппарата представлены на рис. 9 и 10.

Аппарат с маятниковой схемой дыхания (рис. 9) состоит из лицевой части 1, служащей для изоляции органов дыхания от окружающей среды, теплообменника 8, дыхательного шланга 2, регенеративного патрона 6 с фильтром 7 и пусковым устройством 3, дыхательного мешка 4 с клапаном избыточного давления 5. Выдыхаемая ГДС через лицевую часть 1 и теплообменник 8 по дыхательному шлангу 2 поступает в регенеративный патрон 6, снаряженный кислородсодержащим регенеративным продуктом. В патроне 6 происходит химическая реакция диоксида углерода и паров воды, содержащихся в ГДС, с регенеративным продуктом (так называемая реакция регенерации ГДС), в результате которой выделяется кислород в количестве, достаточном для дыхания. Из патрона 6 ГДС поступает в дыхательный мешок 4. При вдохе ГДС движется в обратном направлении. Процесс регенерации происходит в основном при прохождении ГДС через патрон в прямом направлении и дополнительно при движении в обратном и включает две фазы: поглощение диоксида углерода и влаги и добавление выделившегося кислорода.

Упомянем еще, что в воздухопроводной системе дыхательных аппаратов имеется пространство, в котором при выдохе остается последняя порция ГДС, выдыхаемой человеком. Эта порция при последующем



**Рис. 9. Принципиальная схема автономного ИДА с химически связанным кислородом (маятниковая схема дыхания):**

1 – лицевая часть; 2 – шланг дыхательный; 3 – устройство пусковое; 4 – мешок дыхательный; 5 – клапан избыточного давления; 6 – патрон регенеративный; 7 – фильтр; 8 – теплообменник

вдохе возвращается в органы дыхания человека. Такое пространство называют *мертвым (или вредным) пространством* дыхательного аппарата, и его объем влияет на характеристики ИДА. Наибольший геометрический объем вредное пространство имеет у аппаратов, сконструированных по маятниковой схеме дыхания, наименьший – у аппаратов с круговой схемой дыхания.

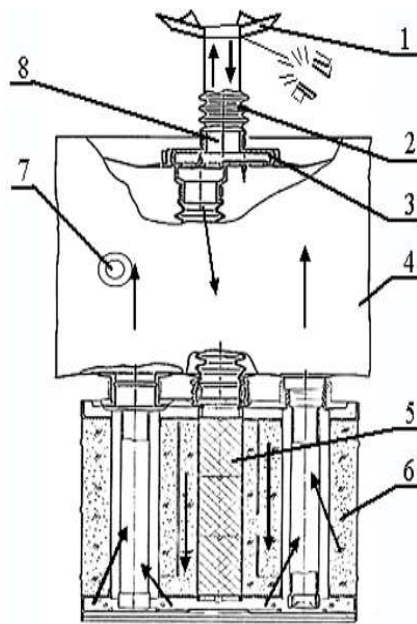
Процесс регенерации ГДС является экзотермическим, в ходе процесса продукт при тяжелой физической нагрузке может разогреваться до 300...350 °С, что вызывает нагрев ГДС, поступающей на вдох. Для снижения температуры вдыхаемой ГДС в современных аппаратах используют теплообменник (тепловлагообменник) 8 или холодильник. Вследствие этого, а также благодаря значительному осушению ГДС в процессе регенерации, в аппаратах с химически связанным кислородом реализуются благоприятные микроклиматические условия дыхания.

Избыток ГДС удаляется из системы в конце выдоха через клапан избыточного давления 5. При приведении в действие пускового устройства 3 выделяется кислород в количестве, достаточном для заполнения дыхательного мешка, что необходимо для обеспечения дыхания в начальный период.

В аппаратах, сконструированных по *круговой* схеме дыхания, движение ГДС организовано за счет использования клапанной коробки 3: выдыхаемая ГДС попадает в регенеративный патрон 6, где очищается от диоксида углерода и паров воды, и поступает в дыхательный мешок 4 с клапаном избыточного давления 7. При вдохе ГДС поступает в органы дыхания через теплообменник 8, служащий для снижения температуры вдыхаемого воздуха, и клапанную коробку 3. Принципиальная схема аппарата приведена на рис. 10.

К достоинствам аппаратов с химически связанным кислородом относятся простота конструкции, экономное расходование кислорода, высокое удельное время защитного действия, длительные гарантийные сроки хранения, возможность длительного пребывания в состоянии ожидания использования при минимальных проверках готовности, минимальные масса и габариты аппаратов, сравнительно небольшая стоимость. При их применении исключается необходимость иметь баллонно-компрессорное или криогенное хозяйство. Эти качества делают аппараты с химически связанным кислородом (особенно самоспасатели) крайне привлекательными для потребителя.





**Рис. 10. Принципиальная схема автономного дыхательного аппарата с химически связанным кислородом (круговая схема дыхания):**

1 – загубник с нозовым зажимом; 2 – воздуховод; 3 – клапанная коробка; 4 – дыхательный мешок; 5 – пусковой брикет; 6 – регенеративный продукт; 7 – клапан избыточного давления; 8 – теплообменник

В настоящее время на зарубежном и отечественном рынке изолирующих средств индивидуальной защиты органов дыхания с химически связанным кислородом находятся более 60 наименований самоспасателей.

Фирмой Dräger Safety AG & Co. KGaA (Германия) освоен выпуск самоспасателей новой серии «Оху К», которая включает изделия Оху К pro, Оху К расе, Оху К риг, Оху К 30 Е, Оху К 30 S (AS), Оху К 30 HW/HS, Оху К 50, Оху К plus с временем защитного действия 15...50 минут. Фирмой Dräger Aerospace A Cobham plc company производится самоспасатель для экипажей авиалайнеров OXY crew, получивший сертификат летной годности в России.

Фирмой Auergesellschaft GmbH (Германия) проведена модернизация самоспасателей SSR 16 BB (новый вариант – SSR 16 N) и SSR 30/100 (новые варианты: SSR 30/100 B, SSR 30BS, SavOx) и освоен выпуск новых изделий S 15, SAR 30L (модификация SAR 30), а также ряда самоспасателей с временем защитного действия более 60 мин.

Фирмой Sperian Protection (ранее Fenzy S.A.S.) разработан типовой ряд самоспасателей серии Biocell 1 (Biocell 1 standard, Biocell 1 start, Biocell 1 plus, Biocell 1 hood, Biocell 1 mask), а также Biocell 30 start. Большая часть из этих самоспасателей на рынке не закрепились, за исключением самоспасателя Biocell 1 start. В настоящее время французская фирма закончила совместно с ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработку 30-минутного самоспасателя OXY-pro, который успешно прошел сертификационные испытания.

Еще одно французское предприятие – Fernez, входящее в ту же промышленную группу (Bacou-Dalloz), что и фирма Sperian Protection, предлагает шестиминутный самоспасатель Micro-K.

Фирмой Faser S.A.S. (Польша) в последние годы созданы, сертифицированы и серийно производятся самоспасатели SR-30 и SR-60, которые дополнили ряд самоспасателей с химически связанным кислородом, выпускающихся польской фирмой для нужд угольной отрасли промышленности (ранее производился только самоспасатель SR-100A).

Фирмой CSE Corporation в сотрудничестве с фирмой из ЮАР AfrOx Corporation разработаны, сертифицированы в Австралии и поставляются на рынок этой страны новые изделия CSE SR-50A и CSE SR-100A (на 25 и 50 мин времени защитного действия, соответственно), в конструкции которых, во-первых, используется, наряду с двумя индикаторами герметичности, индикатор термического воздействия на самоспасатель, а во-вторых, внедрен метод неразрушающего контроля шихты регенеративного продукта по показателю надежности ее фиксации в регенеративном патроне.

Фирма MSA в последние 10 лет не отличается активностью в области создания новых изделий с химически связанным кислородом. Исключением является создание и организация промышленного выпуска 60-минутного самоспасателя для шахтеров Life Saver 60, который пришел на смену самоспасателю этой же фирмы Portal-Pack.

Фирмой AfrOx Corporation (ЮАР) в последние годы разработаны самоспасатели AfrOx Pac 30 и AfrOx Pac 30+, которые предназначены преимущественно для реализации на рынке Австралии, о чем свидетельствует получение сертификатов одобрения на данные изделия в Австралии.

С конца 1990-х гг. XX в. на рынке самоспасателей с химически связанным кислородом стали появляться новые фирмы. В частности, к их числу относится индийская фирма Suparna Chemicals, освоившая выпуск самоспасателя RAKSHA KAVACH.

Продолжаются разработки изделий рассматриваемого класса на Украине, к которым относятся новые самоспасатели ШСС-1П и СИ-15 (ДЗГА), а также самоспасатель СИМ-15 (Дзержинский электромеханический завод).

В России появление дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом связано с деятельностью, прежде всего, ОАО «Корпорация «Росхимзащита», а также ОАО «Тамбовмаш».

Самоспасатели с химически связанным кислородом являются изделиями одноразового применения, а аппараты для проведения аварийных работ – изделиями многократного применения при условии замены регенеративных патронов. К не-

достаткам аппаратов с химически связанным кислородом относятся невозможность осуществления длительных (более 1...2 ч) перерывов в работе, сильный разогрев корпуса аппарата, высокая стоимость одного включения из-за значительной цены регенеративного патрона, высокая объемная доля кислорода во вдыхаемой ГДС (до 99 %) и отсутствие надежной конструкции индикатора степени истощения времени работы, обусловленное принципиальными трудностями его создания. К недостаткам самоспасателей и простейших рабочих аппаратов с химически связанным кислородом относятся значительное сопротивление дыханию, довольно высокая температура вдыхаемой ГДС и ее сухость.

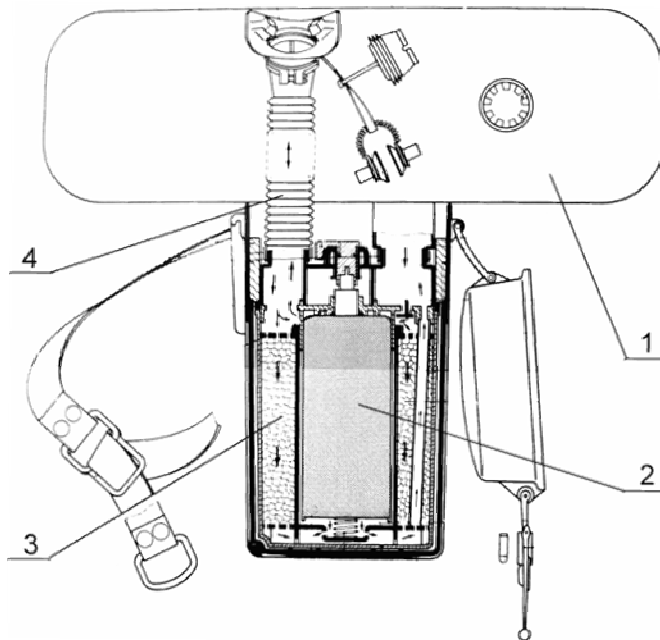
Необходимо также упомянуть, что для обозначения автономных дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом, предназначенных для проведения аварийных работ в ряде отраслей, в первую очередь в угледобывающей, применяется термин «респиратор», аналогичный термину, используемому для обозначения облегченных фильтрующих средств защиты. Поскольку о фильтрующих респираторах далее речь идти не будет, термин «респиратор» в дальнейшем будет использоваться исключительно применительно к аппаратам с химически связанным кислородом, предназначенным для проведения аварийных работ.

Сравнительные характеристики лучших образцов аппаратов с химически связанным кислородом для аварийных работ приведены в табл. 3.

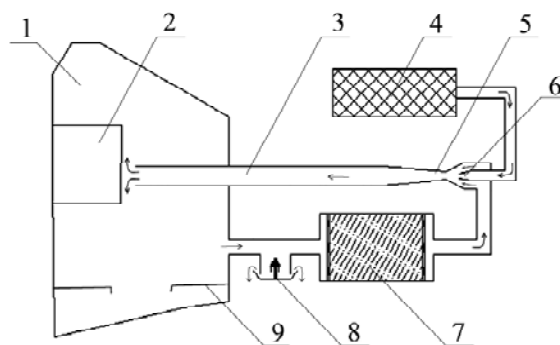
Известна мало распространенная группа дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом, который зарезервирован в брикетах, изготовленных на базе хлората натрия (бертолетовой соли) или других химических соединений. Такие брикеты получили название кислородных свечей или *твердых источников кислорода* (ТИК). Кислород выделяется из брикета в результате реакции разложения ТИК. Для запуска брикет имеет специальное зажигательное приспособление, после приведения в действие которого реакция идет с постоянной скоростью до полного истощения запаса кислорода. Указанный брикет полностью заменяет всю кислородподающую систему. Подача кислорода выбирается заведомо большей, чем максимальное потребление его человеком при тяжелой физической работе.

Главным достоинством таких аппаратов являются простота и надежность кислородподающей системы, состоящей из единственного элемента – ТИКа. Существенный недостаток – невозможность их использования во взрывоопасной среде, т.е. они непригодны для применения, например, в угольных шахтах. Кроме того, несмотря на значительный общий запас кислорода в ТИКе, в связи с неэкономным его расходом удельное время защитного действия этих аппаратов ниже, а масса больше чем у аппаратов со сжатым кислородом.

Возможны две принципиальные схемы аппаратов с ТИКа. На схеме, приведенной на рис. 11, кислород, выделяемый ТИКом 2, в зависимости от фазы дыхания (вдох или выдох) попадает в дыхательный мешок 1 или по соединительной трубке 4 в органы дыхания. При выдохе газовая смесь проходит через поглотительный патрон 3, где очищается от диоксида углерода, и попадает в дыхательный мешок 1. При вдохе газовая смесь, обогащенная кислородом, выделенным ТИКом 2, проходит через поглотительный патрон 3, где дополнительно очищается от диоксида углерода, и поступает в органы дыхания.



**Рис. 11. Принципиальная схема автономного дыхательного аппарата с химически связанным кислородом на базе твердого источника кислорода без эжектора:**  
1 – дыхательный мешок; 2 – ТИК; 3 – поглотительный патрон;  
4 – соединительная трубка с загубником



**Рис. 12. Принципиальная схема автономного дыхательного аппарата с химически связанным кислородом на базе твердого источника кислорода с эжектором:**

1 – колпак; 2 – иллюминатор; 3 – трубка; 4 – генератор кислорода; 5 – эжектор; 6 – сопло; 7 – поглотительный патрон; 8 – клапан избыточного давления; 9 – обтюратор

На схеме, приведенной на рис. 12, кислород, выделяемый ТИКом, через эжектор 5 поступает в колпак 1 с иллюминатором 2 и при вдохе пользователя попадает в органы дыхания. При прохождении кислорода через эжектор 5, помещенный в генератор кислорода 4, в сопле 6 эжектора возникает разрежение, за счет которого дыхательная смесь засасывается из-под колпака 1 и поступает в поглотительный патрон 7, где очищается от диоксида углерода и снова поступает в колпак. При объемной скорости выделения кислорода из ТИКа на уровне 5...6 дм<sup>3</sup>/мин эжектор обеспечивает циркуляцию дыхательной смеси через поглотительный патрон с объемной скоростью порядка 80...90 дм<sup>3</sup>/мин. Такая конструкция дыхательного аппарата с ТИКа называется еще схемой с принудительной вентиляцией. Она отличается практически полным отсутствием сопротивления дыханию, поскольку при дыхании пользователю не надо прилагать усилия дыхательных мышц для преодоления сопротивления регенеративного или поглотительного патрона.

## 2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГАЗО-, ТЕПЛО-, ВЛАГООБМЕНА И ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

При включении пользователя в изолирующий дыхательный аппарат образуется замкнутая система «человек – СИЗОД», в которой, с одной стороны, аппарат оказывает влияние на условия дыхания, работоспособность, утомляемость человека, с другой – физиологические особенности последнего (масса, степень тренированности, характер дыхания и т.д.) определяют характеристики самого аппарата при выполнении пользователем работ различной интенсивности. Поэтому для освоения подходов к конструированию автономных дыхательных аппаратов необходимо иметь представление о физиологических основах дыхания человека.

### 2.1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Для поддержания жизнедеятельности организма необходимо постоянное поступление к тканям кислорода, содержащегося в окружающем воздухе, и удаление продуктов окисления. Кислород поступает в организм посредством дыхания – совокупности процессов, в результате которых происходит потребление организмом кислорода и выделение диоксида углерода, воды и других веществ. Если без пищи и воды человек может жить несколько дней, то прекращение окислительных процессов приводит к гибели организма уже через несколько минут.

Для изучения работы ИДА практическое значение имеют процессы, происходящие при так называемом *внешнем*, или *легочном* дыхании, к которым относятся вентилирование легких человека поступающим в них воздухом и процессы газо-, тепло- и влагообмена между вдыхаемым и выдыхаемым воздухом. Вентилирование легких атмосферным воздухом и газовой дыхательной смесью, имеющейся в дыхательных аппаратах, осуществляется в результате дыхательных движений грудной клетки – вдохов и выдохов. Основными параметрами, характеризующими этот процесс, являются объем одного вдоха или выдоха (*глубина дыхания*)  $V_d$  и число циклов вдох-выдох (*частота дыхания*)  $n$  в единицу времени. Наиболее важным параметром, характеризующим дыхание человека, является *легочная вентиляция*  $W$ , которая выражается произведением величин  $V_d$  и  $n$  и представляет собой объем воздуха, вентилирующийся в легких в единицу времени. Этот параметр напрямую связан с величиной физической нагрузки, выполняемой человеком.

Последняя порция каждого выдоха остается в воздуховодных путях и при последующем вдохе возвращается в легкие, соответственно при каждом выдохе равный объем предыдущего вдоха возвращается в атмосферу. Этот объем дыхательных путей, составляющий у взрослого человека около 0,14 л, называется, как и в случае с дыхательными аппаратами, *мертвым (или вредным) пространством*.

В состоянии покоя взрослый человек делает 15 – 18 циклов вдох-выдох в минуту, глубина дыхания составляет величину около 0,5 л, а легочная вентиляция – 7...9 дм<sup>3</sup>/мин. При физической нагрузке, сопровождающейся повышением потребности организма в кислороде, значения всех трех параметров увеличиваются. Очень тяжелая физическая нагрузка характеризуется частотой дыхания до 40...45 мин<sup>-1</sup>, глубиной дыхания до 3,5...4 л и легочной вентиляцией до 100...110 дм<sup>3</sup>/мин.

Изменение частоты и глубины дыхания происходит независимо от воли человека под воздействием возбуждающих сигналов, приходящих к дыхательной мускулатуре. Каждому уровню интенсивности физической нагрузки соответствует определенная для каждого человека величина легочной вентиляции. Частота и глубина дыхания подвержены большому изменением: одна и та же легочная вентиляция может быть получена как при частом и поверхностном дыхании, так и при редком и глубоком. Последний тип дыхания предпочтителен в смысле улучшения условий дыхания в ИДА, так как в этом случае уменьшается влияние на вентилирование легких вредного пространства самого ИДА и обеспечиваются лучшие условия для поглощения кислорода человеком. Поэтому отработка глубокого и редкого дыхания важна для каждого человека и, особен-



но, для людей, профессиональная деятельность которых связана с использованием ИДА.

Существует большое число методик исследования процесса вентилирования легких. Кривые записи изменения значений объема воздуха, поступающего в легкие, во времени получили названия *спирограмм*. Наиболее важным является установление значений объемного расхода воздуха при вдохе и выдохе, так как он полностью определяет дополнительное сопротивление дыханию, которое ИДА вносит при использовании его человеком. Соответствующие кривые получили название *пневмотахограмм*.

Характер спирограмм и пневмотахограмм индивидуален для каждого человека, поэтому можно выделить лишь несколько их типов и установить некоторые общие закономерности. Так, например, длительность фаз вдоха и выдоха у многих людей различна и составляет в среднем около 45 % для вдоха и 55 % для выдоха от полной длительности дыхательного цикла. Паузы между этими фазами практически отсутствуют.

Различают три типа пневмотахограмм (рис. 13): куполообразную, платообразную и треугольную [2].

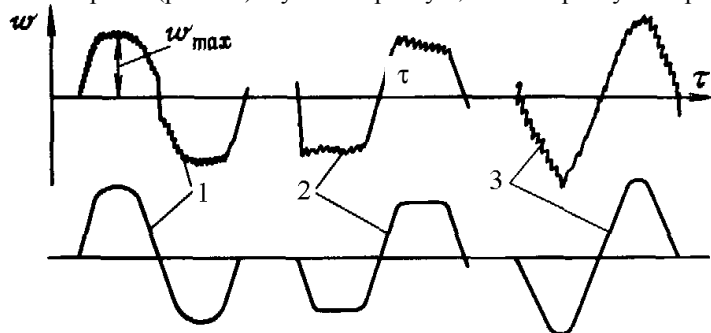


Рис. 13. Виды пневмотахограмм:

1, 2, 3 – соответственно куполообразная, платообразная и треугольная пневмотахограммы

Наибольшее распространение имеют куполообразные и треугольные пневмотахограммы. Максимальный объемный расход воздуха  $W_{\max}$  для куполообразной пневмотахограммы превышает среднее значение для вдоха или выдоха в 1,4 – 1,6 раз. Для треугольной пневмотахограммы превышение максимального объемного расхода воздуха над средним значением составляет 1,8 – 2,0 раза, поэтому такой вид дыхания нежелателен при работе в ИДА, так как при одной и той же легочной вентиляции он создает наибольшее сопротивление дыханию. Кроме того, высокий мгновенный расход воздуха способствует большему проскоку диоксида углерода через регенеративный или поглотительный патроны ИДА. При использовании ИДА предпочтительнее платообразная пневмотахограмма, которая характеризуется отношением максимального объемного расхода к среднему на уровне 1,1...1,4. Такой вид дыхания можно выработать тренировкой.

## 2.2. ПРОЦЕССЫ ГАЗО-, ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА

В процессе дыхания в легких человека происходят процессы газо-, тепло- и влагообмена. Сущность процесса *газообмена* состоит в переходе кислорода из альвеолярного воздуха в венозную кровь (поглощение кислорода) и переходе диоксида углерода из венозной крови в альвеолярный воздух (выделение диоксида углерода). Этот обмен происходит через тонкие стенки легочных капилляров по законам диффузии вследствие разности парциальных давлений газов в альвеолах и крови. Значения парциального давления газов в организме человека весьма стабильны (табл. 4).

### 4. Содержание $O_2$ и $CO_2$ в газовой дыхательной смеси

Среда	Парциальное давление, кПа		Объемная доля, %	
	$O_2$	$CO_2$	$O_2$	$CO_2$
Вдыхаемый воздух	21,2	0,03	21	0,03
Выдыхаемый воздух	15,2...16,2	3,3...4,3	16...17	3,5...4,5
Альвеолярный воздух	14,0...14,7	5,3	14,2...14,6	5,6

Легочный газообмен в организме человека характеризуется тремя величинами: выделением диоксида углерода  $W_c$  (дм<sup>3</sup>/мин), поглощением (потреблением) кислорода  $W_s$  (дм<sup>3</sup>/мин) и дыхательным коэффициентом  $K_{\text{дых}} = W_c / W_s$ .

Потребление кислорода и выделение диоксида углерода изменяются в зависимости от интенсивности выполняемой физической работы. Необходимый для организма уровень газообмена достигается рефлекторно за счет изменения легочной вентиляции. Уровень парциального давления диоксида углерода в альвеолярном воздухе (5,3 кПа) стабилен, является биологической константой и через дыхательный центр регулирует интенсивность легочной вентиляции. Незначительное повышение парциального давления диоксида углерода приводит к увеличению легочной вентиляции, а понижение – к ее уменьшению. Значение дыхательного коэффициента может изменяться от 0,7 до 1,1 в зависимости от индивидуальных особенностей человека, интенсивности физической работы, характера принимаемой пищи (соотношения в ней жиров, белков и углеводов) и других причин.

Минимальный уровень газообмена и легочной вентиляции соответствует так называемому *основному обмену организма*, при котором энергия окислительных процессов расходуется только на работу внутренних органов и поддержание температуры тела. Мужчина массой 70 кг в положении лежа с расслабленной мускулатурой потребляет около 0,25 дм<sup>3</sup>/мин кислорода и выделяет около 0,2 дм<sup>3</sup>/мин диоксида углерода при легочной вентиляции около 6 дм<sup>3</sup>/мин. Энергозатраты организма при этом составляют примерно 80 Вт. В положении стоя в состоянии покоя потребление кислорода увеличивается до 0,5

дм<sup>3</sup>/мин, а при очень тяжелой физической работе оно может достичь 4 дм<sup>3</sup>/мин.

Сущность процесса *тепловлагообмена*, происходящего в легких, состоит в том, что вдыхаемый человеком воздух независимо от его исходных температурно-влажностных параметров принимает параметры альвеолярного воздуха, т.е. температуру внутренней части тела человека (около 37 °С) и полностью насыщается водяными парами. Парциальное давление водяных паров в альвеолярном воздухе постоянно и равно 6,3 кПа.

Температурно-влажностные параметры выдыхаемого человеком воздуха являются постоянными и несколько отличаются от параметров альвеолярного воздуха вследствие влияния мертвого пространства дыхательных путей. С учетом этого при испытаниях и оценке ИДА считают, что температура выдыхаемого воздуха равна 36...37 °С и относительная влажность 94...98 %, а в качестве расчетной принята его *удельная энтальпия (теплосодержание)*, равное 140 кДж на 1 кг сухого воздуха.

При дыхании человека в нормальных микроклиматических условиях (температура воздуха 15...25 °С, относительная влажность 40...60 %) теплосодержание вдыхаемого воздуха ниже, чем выдыхаемого. Поэтому из организма через легкие отводится определенное количество теплоты и водяных паров, что способствует сохранению нормального теплового баланса организма. При вдыхании из атмосферы или из ИДА воздуха, имеющего удельную энтальпию выше, чем 140 кДж/кг, происходит поступление теплоты извне через органы дыхания и накопление ее в организме, что является неблагоприятным для человека фактором.

### 2.3. МОДЕЛЬ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Основные сведения из физиологии дыхания человека являются основанием для построения математической модели внешнего дыхания человека, которая необходима для понимания принципов и техники защиты органов дыхания человека при помощи ИДА. Как указывалось выше, характер внешнего дыхания и взаимосвязь между его отдельными параметрами у разных индивидуумов неодинаковы. Поэтому при выводе математических зависимостей необходимо применять определенные условности и допущения, усреднение некоторых показателей, что не должно отражаться на правильном описании основной сущности физиологического процесса внешнего дыхания.

Решение задачи начинают с построения математической модели вентиляционной функции легких [2]. При дыхательных движениях грудной клетки создается пульсирующий поток воздуха, изменение объема которого во времени описывается спирограммой, а объемного расхода – пневмотахограммой (см. рис. 13). Из трех видов пневмотахограмм, встречающихся при дыхании большинства людей, наиболее характерна куполообразная, которую и принимают при выборе модели вентиляционной функции легких.

Для куполообразной пневмотахограммы можно с достаточным приближением допустить, что перемещение воздуха из атмосферы в легкие, а затем обратно осуществляется по закону гармонического колебательного движения, т.е. по закону синуса, а создаваемый легкими поток воздуха является синусоидальным потоком.

Синусоидальная зависимость обладает следующими достоинствами:

- она выражается простым математическим уравнением, причем дифференцирование зависимости изменения объема во времени (спирограммы) для получения объемного расхода потока (пневмотахограммы) приводит к кривой такого же вида – синусоиде, сдвинутой на четверть периода;
- объемные расходы потока воздуха для синусоидальной зависимости и куполообразной пневмотахограммы близки между собой и находятся в диапазоне значений, приведенных выше для платообразной и треугольной пневмотахограмм;
- пульсирующий поток воздуха, близкий к синусоидальному, воспроизводится при помощи обычного кривошипно-шатунного механизма, что важно при создании стендов-имитаторов дыхания для испытания ИДА.

Изменение объема легких  $V$  при дыхании описывается уравнением

$$V = 0,5V_d \sin 2\pi n\tau, \quad (1)$$

где  $V_d$  – дыхательный объем (вдоха или выдоха), л;  $n$  – частота дыхания, мин<sup>-1</sup>;  $\tau$  – время, мин.

Скорость изменения объема легких  $w$  (дм<sup>3</sup>/мин) или объемный расход воздуха при дыхании выражается формулой (2):

$$w = \frac{dV}{d\tau} = \pi V_d n \cos 2\pi n\tau = \pi V_d n \sin[(\pi/2) + 2\pi n\tau], \quad (2)$$

а легочная вентиляция (дм<sup>3</sup>/мин) – формулой (3):

$$w_L = V_d n. \quad (3)$$

Тогда, учитывая, что при инженерных расчетах привязка к начальной фазе синусоидального потока не имеет значения, уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$w = 3,14w_L \sin \pi n\tau. \quad (4)$$

Из данных уравнений вытекают три следствия:

- 1) средний объемный расход потока воздуха при вдохе и выдохе

$$\bar{w} = 2w_L = 2V_d n; \quad (5)$$

- 2) максимальный объемный расход потока при вдохе и выдохе

$$w_{\max} = 3,14w_L = 3,14V_d n = 1,57\bar{w}; \quad (6)$$

- 3) одни и те же значения  $w_L$ ,  $\bar{w}$  и  $w_{\max}$  получаются при разных  $V_d$  и  $n$  и зависят от их произведения.

Необходимо отметить, что вывод зависимостей (1) – (6) произведен, исходя из допущения, что объемы вдыхаемого и выдыхаемого воздуха равны между собой и характеризуются изменением геометрической вместимости легких. На самом

деле объем выдыхаемого воздуха несколько меньше, чем вдыхаемого, в связи с тем, что дыхательный коэффициент в большинстве случаев имеет значение меньше единицы (0,8...0,9), а поэтому не весь объем поглощенного кислорода замещается равноценным объемом углекислого газа. Погрешность при этом допущении не превышает 1 %.

Графическое изображение зависимостей (1) и (2) показано соответственно на рис. 14, а, б. Первая из них является спирограммой, а вторая – пневмотахограммой. Кривые сдвинуты по фазе относительно друг друга на четверть периода.

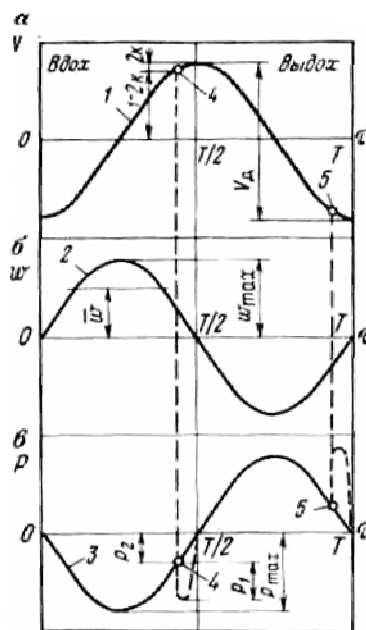


Рис. 14. Изменение параметров пульсирующего синусоидального потока воздуха во времени  $t$  в течение одного дыхательного цикла:

а – спирограмма; б – пневмотахограмма; в – сопротивление дыханию

Сопротивление воздухопроводной системы ИДА синусоидальному пульсирующему потоку воздуха является прямой функцией объемного расхода, т.е. пневмотахограммы потока. Указанная функция имеет сложный степенной характер, причем на протяжении одного и того же дыхательного цикла показатель степени изменяется от единицы (при малой линейной скорости потока и ламинарном его характере) до двух (при повышении линейной скорости и турбулентном характере потока). Поэтому кривая сопротивления отличается от синусоиды и имеет форму, приближающуюся к треугольнику. Однако для упрощения инженерных расчетов все же считают, что она также представляет собой синусоиду (рис. 14, в).

Ориентировочная оценка мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления дыханию, может быть произведена расчетным путем. Мгновенная мощность дыхания (Вт)

$$N_d = 0,166 \cdot 10^{-4} w_{\max} p_{\max} \sin^2 2\pi n t, \quad (7)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное сопротивление дыханию на вдохе и выдохе, Па.

На практике необходимо знать среднее значение мощности для полного дыхательного цикла (вдоха и выдоха). После составления и интегрирования дифференциального уравнения и ряда преобразований, а также перехода к легочной вентиляции получают следующее выражение для определения средней мощности (Вт):

$$N_d = 0,26 \cdot 10^{-4} w_{\text{л}} p_{\max}. \quad (8)$$

В случае, если сопротивления дыханию на вдохе и на выдохе различны, в формулу (8) подставляют полусумму их абсолютных значений.

Сопротивление дыханию реального ИДА зависит также от других его составных элементов – легочного автомата (если он имеется) и клапана избыточного давления. Каждое из этих устройств требует для своего открывания определенного дополнительного разрежения или давления  $p_1$ , которое суммируется с сопротивлением воздухопроводной системы.

Связь между параметрами легочного газообмена и вентиляционной функцией легких выражается следующими уравнениями:

$$w_c = c_o w_{\text{л}} = (\bar{c}_{\text{вд}} - \bar{c}_{\text{вд}}) w_{\text{л}}; \quad (9)$$

$$w_s = s_o w_{\text{л}} = (\bar{s}_{\text{вд}} - \bar{s}_{\text{вд}}) w_{\text{л}}, \quad (10)$$

где  $w_c$  – выделение диоксида углерода,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ ;  $c_o$  – выделение в объемных долях к легочной вентиляции;  $\bar{c}_{\text{вд}}$ ,  $\bar{c}_{\text{вд}}$  – средняя объемная доля диоксида углерода соответственно во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе;  $w_s$  – потребление кислорода,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ ;  $s_o$  – потребление (отбор) кислорода в объемных долях к легочной вентиляции;  $\bar{s}_{\text{вд}}$ ,  $\bar{s}_{\text{вд}}$  – средняя объемная доля кислорода соответственно во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе.

Дыхательный коэффициент выражается формулой (11):

$$K_{\text{дых}} = \frac{w_c}{w_s} = \frac{c_o}{s_o}. \quad (11)$$

Интенсивность легочной вентиляции регулируется парциальным давлением  $p_a$  диоксида углерода в альвеолярном воз-

духе (независимо от парциального давления кислорода). Величина  $p_a = 5,3$  кПа и практически не зависит ни от интенсивности физической нагрузки, ни от изменения атмосферного давления.

При испытаниях ИДА необходимо знать, изменяются ли параметры вентиляционной функции легких при естественном дыхании человека в условиях различного атмосферного давления, но при одной и той же физической нагрузке. Можно предположить, что при дыхании разреженным воздухом в высокогорной местности человек будет вдыхать больше воздуха, чтобы компенсировать недостаток кислорода и наоборот, при эксплуатации, например, в глубокой шахте, где вдыхание плотного воздуха в какой-то мере затруднено, он будет ограничивать объем вдоха. Ответ на этот вопрос базируется на физиологической закономерности  $p_a = \text{const}$  и на условии о постоянстве физической нагрузки и выделении одной и той же массы диоксида углерода в единицу времени.

В соответствии с законом для смеси идеальных газов масса диоксида углерода, который находится в альвеолярном пространстве легких, имеющем в некоторый момент дыхательного цикла геометрический объем  $V_a$ , распространяется по всему этому объему так, как если бы в смеси не было других газов. Уравнение ее состояния  $p_a V_a = \text{const}$ . Поскольку парциальное давление диоксида углерода постоянно и не зависит от атмосферного давления ( $p_a = \text{const}$ ), то для удовлетворения уравнения состояния геометрический альвеолярный объем также должен быть постоянным:  $V_a = \text{const}$ . Данный вывод справедлив для каждого момента дыхательного цикла. Следовательно, изменение общего геометрического объема альвеол при каждом дыхательном цикле (или в течение 1 мин) не зависит от атмосферного давления и определяется лишь массой диоксида углерода, поступившего в легкие в течение этого времени.

Значение данного вывода заключается в том, что при испытании ИДА на стендах-имитаторах дыхания нет необходимости в изменении рабочего объема поршневого или мембранного насоса в зависимости от атмосферного давления.

*Теплообмен*, происходящий в легких, определяется температурно-влажностными параметрами вдыхаемого воздуха, т.е. микроклиматом окружающей среды или дыхательного аппарата, и описывается следующими уравнениями:

$$q_{\text{мк}} = 16,7 w_{\text{л}} \rho (h_{\text{выд}} - h_{\text{вд}}); \quad (12)$$

$$m_{\text{вл}} = w_{\text{л}} \rho (d_{\text{выд}} - d_{\text{вд}}), \quad (13)$$

где  $q_{\text{мк}}$  – тепловой поток, отводимый из организма человека через органы дыхания, Вт;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/дм<sup>3</sup>;  $h_{\text{вд}}$ ,  $h_{\text{выд}}$  – удельная энтальпия соответственно вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, кДж/кг;  $m_{\text{вл}}$  – расход влаги из легких, г/мин;  $d_{\text{вд}}$ ,  $d_{\text{выд}}$  – содержание влаги в 1 кг соответственно вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, г.

В ИДА с химически связанным кислородом удельная энтальпия вдыхаемого воздуха может быть выше, чем выдыхаемого. В этом случае происходит поступление тепла в организм через органы дыхания (величина  $q_{\text{мк}}$  становится отрицательной). Равенство удельных энтальпий соответствует нейтральному теплообмену.

Энергозатраты организма, исходя из значения калорического эквивалента кислорода (при стандартных физических условиях СУ):

$$P_9 = 350 w_s = 350 w_c / K_{\text{дых}}. \quad (14)$$

Из изложенного следует, что дыхание человека характеризуется восьмью параметрами: потреблением кислорода в единицу времени  $w_s$  при относительном объеме  $s_s$ ; выделением диоксида углерода в таком же выражении, т.е.  $w_c$  и  $s_c$ ; дыхательным коэффициентом  $K_{\text{дых}}$ ; легочной вентиляцией  $w_{\text{л}}$ ; частотой дыхания  $n$  и дыхательным объемом  $V_{\text{л}}$ . Их взаимосвязь описывается уравнениями (3) и (9) – (11). Совокупность взаимосвязанных значений указанных параметров называется дыхательным режимом. Из восьми параметров четыре являются определяющими ( $w_s$ ,  $w_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$ ). Главный из них – выделение диоксида углерода  $w_c$ , характеризующее уровень энергетического обмена в организме.

Предложенная система режимов была реализована в свое время для испытаний дыхательных аппаратов для горнорабочих и горноспасателей еще в СССР [2]. Она позволяла проводить как приемку серийной продукции, так и исследовательские работы при создании новых дыхательных аппаратов. Практически дыхательные режимы реализуются при испытаниях ИДА на установке «Искусственные легкие».

Во всем диапазоне дыхания человека существует множество дыхательных режимов. При изучении внешнего дыхания человека для инженерных расчетов и оценки дыхательных аппаратов для горнорабочих и горноспасателей в свое время была принята дискретная система дыхательных режимов, включающая 15 энергетических уровней дыхания [2]. Каждый из таких режимов имеет порядковый номер и отличается от соседнего по главному определяющему параметру – выделению диоксида углерода – на 0,2 дм<sup>3</sup>/мин. Так, для режима № 1 выделение диоксида углерода составляет 0,2 дм<sup>3</sup>/мин, для режима № 5 – 1 дм<sup>3</sup>/мин, а для режима № 15 – 3 дм<sup>3</sup>/мин.

Значения  $w_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$  для каждого из 15 режимов определены при анализе экспериментальных данных, полученных разными авторами, которые изучали изменение дыхательной функции человека при различном физическом напряжении. Работы проводились при обычном атмосферном давлении, которое следует считать равным 99,3 кПа, а все объемы газов, в том числе легочные ( $V_{\text{л}}$ ,  $w_{\text{л}}$ ), приведены при стандартных физических условиях (СУ). При таких же условиях эти данные использованы для построения системы дыхательных режимов. Были определены усредненные, наиболее часто встречающиеся значения  $w_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$ , соответствующие каждому уровню  $w_c$ , а также их отклонения в большую или меньшую сторону. Для  $w_{\text{л}}$  и  $K_{\text{дых}}$  была принята линейная зависимость от  $w_c$ . Закономерность изменения частоты дыхания в экспериментах была нечеткой, поэтому для упрощения имитации внешнего дыхания на стендах принято ступенчатое изменение ее через 5 мин<sup>-1</sup>.

Полученная система дыхательных режимов приведена в табл. 5, в которой даны либо численные значения, либо формулы для вычисления трех параметров ( $w_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$ ) каждого режима. Значения же остальных параметров определяются по приведенным выше формулам. Из таблицы видно, что для каждого дыхательного режима возможны семь комбинаций значений  $w_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$ . Одна из них соответствует основному, усредненному, значению – это основной дыхательный режим. Остальные шесть комбинаций соответствуют увеличенному или уменьшенному значению одного из трех параметров – это дополнительные дыхательные режимы. Таким образом, система содержит 15 основных и 90 дополнительных дыхательных режимов, охватывающих диапазон дыхания человека как по энергетическому уровню, так и по индивидуальным отклонениям

отдельных параметров. При необходимости система дыхательных режимов может быть расширена за счет дополнительных режимов, в каждом из которых отклоняются от номинального значения не один из параметров  $w_{л}$ ,  $K_{дых}$  и  $n$ , а два или три.

С другой стороны, исходя из соотношения, определяемого формулой (14), каждому дыхательному режиму соответствует определенный уровень энергозатрат, который характеризует тяжесть выполняемых работ (табл. 6).

### 5. Совокупность дыхательных режимов [2]

Параметр	Значение параметра	Номер дыхательного режима														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$w_{с}$ , дм <sup>3</sup> /мин	Основное	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
$w_{л}$ , дм <sup>3</sup> /мин	Увеличенное	7	12,5	$w_{л} = 6j$								$w_{л} = 60 + 5(j - 10)$				
	Основное	6	10,5	$w_{л} = 5j$								$w_{л} = 50 + 4(j - 10)$				
	Уменьшенное	5	8,5	$w_{л} = 4j$								$w_{л} = 40 + 3(j - 10)$				
$K_{дых}$	Увеличенное			$K_{дых} = 0,95 + 0,005j$								$K_{дых} = 1 + 0,1(j - 10)$				
	Основное			$K_{дых} = 0,85 + 0,005j$								$K_{дых} = 0,9 + 0,1(j - 10)$				
	Уменьшенное			$K_{дых} = 0,75 + 0,00j$								$K_{дых} = 0,8 + 0,1(j - 10)$				
$n$ , мин <sup>-1</sup>	Увеличенное	20			25		30					35				
	Основное	15			20				25				30			
	Уменьшенное	10			15						20				25	

### 6. Зависимость уровня энергозатрат от выполняемых работ [2]

Режим	Энергозатраты, Вт	Характеристики состояния человека, вида и тяжести физической нагрузки
1	80	Покой в положении лежа, основной обмен веществ и энергии
2	160	Отдых горноспасателя, включенного в респиратор, в шахтных условиях
5	400	Горноспасательная работа средней тяжести. Основная расчетная и испытательная нагрузка для регенеративных респираторов
6	475	Выход горнорабочего в самоспасателе из аварийного участка. Основная расчетная и испытательная нагрузка для изолирующих самоспасателей
10	775	Тяжелая горноспасательная работа, требующая периодического уменьшения напряжения или отдыха
12	910	Предельная нагрузка для выхода горнорабочего в изолирующем самоспасателе из аварийного участка
15	1100	Очень тяжелая горноспасательная работа, которая может выполняться лишь кратковременно и повторяться после отдыха

Система дыхательных режимов в различных вариантах применяется для моделирования физических нагрузок человека на стендах-имитаторах дыхания с целью исследования работы ИДА в различных условиях.

### 3. ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТОКСИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ И ИЗОЛЯЦИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### 3.1. СОСТАВ ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ И В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В нормальных производственных условиях на промышленных предприятиях и тем более в жилых зданиях и учреждениях газовый состав воздуха мало отличается от атмосферного. В соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» содержание вредных примесей в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентрации (ПДК). ПДК вредных веществ – это такие их концентрации (объемные доли), которые при постоянной работе на протяжении всего трудового стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работника. При кратковременном, эпизодическом вдыхании воздуха, содержащего вредные вещества, их допустимые концентрации могут быть и выше.

При чрезвычайных ситуациях объемные доли вредных веществ могут увеличиваться в сотни и тысячи раз по сравнению с ПДК, в результате чего атмосфера становится не только непригодной, но и опасной для жизни людей с незащищенными органами дыхания. В таких случаях для обеспечения жизнедеятельности человека требуется применение СИЗОД. Для того чтобы количественно характеризовать степень опасности среды, используют отношение фактической концентрации вредного газа  $C_{вр}$  к его ПДК, которое называют *коэффициентом токсической опасности среды* [2]. Этот показатель является определяющим при выборе СИЗОД для защиты в определенной чрезвычайной ситуации.

В общем случае, можно выделить три уровня опасности (вида работ), при которых необходимы средства индивидуальной защиты:

- выполнение регламентных работ, связанных с обслуживанием технологического процесса;
- проведение эвакуации из аварийной зоны и проведение первичных мероприятий по предотвращению развития аварий;
- проведение аварийно-спасательных работ, работ по ликвидации аварий и их последствий или выполнение ремонтных работ.

Каждому уровню работ соответствуют средства защиты определенного назначения с присущим им набором характеристик. Сочетание таких средств образует систему, которая должна обеспечивать защиту во всех возникающих ситуациях. Следует учитывать, что использование СИЗОД наряду с выполнением ими своей основной защитной функции – обеспечение жизнедеятельности человека в токсичной атмосфере – одновременно ухудшает условия дыхания человека и снижает производительность труда. Поэтому необходимо систему защиты выстраивать с учетом различной степени воздействия вредных веществ на человека на каждом уровне и, в соответствии с этим, выдвигать требования к средствам защиты.

Наиболее важной стадией с точки зрения *обеспечения безопасных условий труда* является стадия регламентных работ, наибольшая по длительности. Именно при выполнении регламентных работ в результате возможных нарушений создаются предаварийные и аварийные ситуации. Развитие этих негативных явлений зависит от эффективности действий персонала, при этом важнейшим условием является необходимый и достаточный уровень защищенности. Казалось бы, в идеале, при выполнении регламентных работ персонал не нуждается в индивидуальных средствах защиты, так как при нормально протекающем процессе и хорошем техническом состоянии технологического оборудования содержание вредных веществ в атмосфере не превышает предельно допустимые концентрации. Однако обследование многих химических производств показало, что на практике допускается превышение ПДК (иногда на 1–2 порядка) и защита работающих становится обязательной. С другой стороны, даже при нормально протекающем технологическом процессе не исключены временные превышения ПДК за счет разгерметизации аппаратуры, при разливах, взятии проб, попадании капель и т.п. Учитывая, что трудно предвидеть заранее возможность возникновения подобных ситуаций, рабочие в таких производствах постоянно должны быть защищены соответствующими средствами защиты или быть готовы к быстрой защите.

С учетом того, что указанные работы выполняются в течение длительного времени, а превышение ПДК не столь существенно, при проведении регламентных работ должны применяться средства защиты, в минимальной степени влияющие на физиолого-психологическое состояние человека. Как правило, при выполнении регламентных работ, связанных с обслуживанием технологического процесса, используются фильтрующие СИЗОД, имеющие сравнительно небольшую массу и стоимость.

Наиболее важной стадией с точки зрения *снижения количества пострадавших* в результате чрезвычайных ситуаций является эвакуация людей из очага поражения. В условиях, когда время формирования непригодной для дыхания атмосферы может составлять до нескольких секунд, малейшее промедление может привести к смертельному поражению людей, оказавшихся в очаге аварии в случае, если они не имеют необходимых средств защиты или не успеют своевременно ими воспользоваться. Кроме того, в чрезвычайных ситуациях, как правило, обстановка непредсказуема не только по возможным объемным долям вредных веществ, но и по их природе. Поэтому средства защиты, предназначенные для эвакуации (самоспасатели), как правило, должны постоянно носиться или находиться непосредственно на месте предполагаемого использования. Это выдвигает в качестве основного требования к самоспасателям – минимальные масса и габариты для обеспечения возможности постоянного ношения. Основным режимом использования самоспасателей – режим ожидания, а их применение по назначению для эвакуации в зону с чистым воздухом происходит всего один раз за срок службы.

Исходя из изложенного, при эвакуации из очага поражения должны применяться средства, обеспечивающие высокую степень защиты, универсальные по возможности защиты от токсичных веществ разнообразной природы, а зачастую в условиях недостаточной для дыхания объемной доли кислорода, и обладающие минимальными массой и габаритами. Вместе с тем требования к физиолого-гигиеническим характеристикам самоспасателей могут быть не столь жесткими. Упомянем также, что возможны ситуации, когда включенный в самоспасатель человек не имеет возможности эвакуироваться из зоны, непригодной для дыхания, и вынужден в ней оставаться в ожидании помощи.

Требованиям, предъявляемым к средствам для эвакуации, в наилучшей степени отвечают изолирующие самоспасатели с химически связанным кислородом, что объясняет бурное развитие этого класса средств защиты в последнее время. В зависимости от возможных условий развития чрезвычайной ситуации возможно также применение и фильтрующих самоспасателей.

Для жизнеобеспечения *при проведении аварийно-спасательных работ и работ по ликвидации аварий и их последствий* требуются средства защиты, позволяющие выполнять работы с нагрузкой различной степени тяжести в течение длительного времени. В этих условиях, как правило, применяются изолирующие дыхательные аппараты, обеспечивающие надежную защиту от любых токсичных продуктов при их высоких объемных долях. Такие аппараты являются средствами защиты многоразового пользования и должны в минимальной степени влиять на физиолого-психологическое состояние человека, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к физиолого-гигиеническим характеристикам аппаратов.

Правильный выбор СИЗОД для использования в конкретной чрезвычайной ситуации чрезвычайно важен для их эффективного использования. В случае, когда применяется СИЗОД с высокими защитными характеристиками, излишними в данной ситуации, происходит утомление пользователя, что ведет к его желанию прекратить выполнение работ и выключиться из аппарата. Однако, более опасна другая крайность, когда в чрезвычайной ситуации, требующей использования СИЗОД с высокими защитными характеристиками, применяются средства, не обеспечивающие защиту пользователя.

Поскольку предметом настоящего учебного пособия являются изолирующие СИЗОД, в дальнейшем все вопросы будут рассматриваться применительно к стадиям эвакуации и проведения аварийных работ, а также нахождении человека, включенного в средство защиты, в токсичной атмосфере в ожидании помощи.

## **3.2. АНАЛИЗ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОРАЖАЮЩИХ ТОКСИЧНЫХ ФАКТОРОВ И СПЕЦИФИКА ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

При эвакуации и проведении аварийных работ в атмосфере, непригодной для дыхания и требующей использования СИЗОД, на человека воздействуют разнообразные поражающие факторы химической и физической природы. Они воздействуют как на органы дыхания, так и на сам аппарат. Знание этих факторов крайне важно как для обоснования конструкции дыхательных аппаратов, так и требований по стойкости его материалов в условиях воздействия поражающих факторов. В зависимости от сферы деятельности человека, поражающие токсичные факторы, от которых требуется обеспечить защиту, можно разбить на несколько групп.

### **3.2.1. Поражающие факторы при авариях и террористических актах на промышленных предприятиях, имеющих запасы сильнодействующих ядовитых веществ**

Опасность техносферы для населения и окружающей среды обуславливается наличием в промышленности, энергетике, коммунальном хозяйстве большого количества радиационно, химически, биологически, пожаро- и взрывоопасных производств и технологий. В настоящее время в России насчитывается около 45 тысяч таких производств, из них свыше 3,5 тысяч – это объекты промышленности, располагающие значительными объемами химически опасных продуктов: при этом более 50 % из их числа содержит аммиак, 35 % – хлор и хлорпроизводные, 5 % – соляную кислоту. На отдельных объектах одновременно находятся от нескольких сот до нескольких тысяч тонн химически опасных продуктов. Суммарный же их запас на таких предприятиях достигает почти 1 млн. т [3]. Свыше 70 % предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности сосредоточено в крупных агломерациях (с населением свыше 100 тысяч человек) или вблизи них.

Относительно новой опасностью для России является риск инициированных ситуаций, в том числе и так называемого «технологического» терроризма на объектах жизнеобеспечения крупных городов и промышленных центров, а также объектах повышенной экологической опасности, включая химически опасные объекты.

Следует отметить, что в случае аварий аналогичные поражающие факторы могут воздействовать на гражданское население, проживающее вблизи предприятий, использующих сильнодействующие ядовитые вещества (СДЯВ), или транспортных магистралей, по которым происходит перевозка СДЯВ.

Крупнейшими потребителями СДЯВ являются: черная и цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность, машиностроительная и оборонная промышленность, коммунальное хозяйство, медицинская промышленность, сельская промышленность, объекты пищевой и мясомолочной промышленности, холодильники торговых баз.

Анализ перечня общих и токсикологических характеристик сильно действующих ядовитых веществ позволяет их разделить на [3]:

- *негорючие* (азотная кислота, сернистый ангидрид);
- *трудногорючие* (сжиженный аммиак, цианистый водород);
- *способные взрываться при детонации* (хлорпикрин, цианистый водород);
- *горючие* (акрилонитрил, газообразный аммиак, сероуглерод).

По признакам своего поражающего проявления СДЯВ можно подразделить на группы:

- *удушающего действия* (фосген, хлор, хлористый водород, хлорпикрин и др.);
- *общеядовитого действия* (хлорциан, цианистый водород, этиленхлоргидрин и др.);
- *удушающего и общеядовитого действия* (акрилонитрил, аммиак, азотная кислота, окислы азота, сернистый ангидрид, сероводород, фтористый водород и др.);
- *нейротропных ядов* (сероуглерод, фосфорорганические соединения и др.), нарушающие состояния нервной системы;
- *удушающего и нейротропного действия* (аммиак, сернистый водород и др.), вызывающие при ингаляционном поражении токсический отек легких и тяжелое поражение нервной системы;
- *метаболические яды* (окись этилена, хлор, фосген), способные нарушить обмен веществ и привести к смертельному исходу.

В зависимости от стойкости проявления токсичности в атмосфере и на поверхности объектов (нестойкие СДЯВ сохраняются в течение одного часа, стойкие – более одного часа) различают очаги поражения:

- *нестойкое быстродействующее* СДЯВ (аммиак, сероуглерод, синильная кислота);
- *стойкое быстродействующее* СДЯВ (фосфорорганические соединения);
- *нестойкие медленнодействующие* СДЯВ и вещества замедленного действия (фосген, метанол);
- *стойкие медленнодействующие* СДЯВ (азотная кислота, водород фтористый).

*Аварийно химически опасное вещество* (АХОВ) – это сравнительно новое понятие, присвоенное группе опасных химических веществ, которые на протяжении свыше трех десятилетий назывались сильнодействующими ядовитыми веществами. Это понятие введено для группы опасных веществ, которые при определенных аварийных условиях могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

В середине 1980-х гг. Штабом ГО СССР совместно с Минздравом СССР был разработан и утвержден перечень химически опасных веществ из 107 наименований. Он оказался перенасыщенным веществами, представляющими серьезную опасность для организма при попадании их внутрь и не обладающими такой опасностью при непродолжительном ингаляционном воздействии, т.е. неспособным образовать очаг массового поражения. Например, в перечень были включены метанол, дихлорэтан, крезол и др. Поэтому в конце 1980-х гг. были разработаны новые критерии для отнесения опасных веществ к АХОВ, что привело к их сокращению до 84 наименований.

В настоящее время принят более сокращенный список, который включает в себя перечень наиболее распространенных АХОВ, их ПДК в воздухе рабочей зоны и населенных пунктов [4].

Теоретически, в случае аварий на предприятиях могут возникнуть следующие максимальные концентрации наиболее опасных АХОВ: аммиака до 863 мг/л; сернистого ангидрида до 2859 мг/л; сероводорода до 1942 мг/л; фосгена 4294 мг/л; фтористого водорода до 830 мг/л; хлористого водорода до 2360 мг/л; хлора до 3608 мг/л. Существующие же фильтрующие СИЗОД обеспечивают защиту при концентрациях: аммиака 5...15 мг/л, сернистого ангидрида до 14 мг/л, сероводорода 10 мг/л, фосгена до 22 мг/л, фтористого водорода до 22 мг/л, хлористого водорода до 5 мг/л, хлора до 25 мг/л [3]. Поэтому в [3] при проведении аварийных работ рекомендовано использовать в качестве основных средств защиты от АХОВ изолирующие дыхательные аппараты, такие как АСВ-2 (со сжатым воздухом), КИП-7, КИП-8 (со сжатым кислородом), ИП-4М (с химически связанным кислородом), а для кратковременной защиты и экстренного выхода из зараженной зоны – изолирующие самоспасатели с химически связанным кислородом СПИ-20 и ПДУ-3.

### **3.2.2. Поражающие факторы, воздействующие на личный состав спасателей при проведении работ по ликвидации последствий аварий на радиационно и химически опасных объектах**

Особенностью защиты личного состава спасателей при проведении работ по ликвидации последствий аварий на радиационно и химически опасных объектах является необходимость обеспечения не только защиты органов дыхания, но и кожи. Поэтому для защиты личного состава спасателей предусмотрены комплексы средств индивидуальной защиты (СИЗ) трех типов, которые в соответствии с ГОСТ Р 22.9.05–95 по защитным свойствам средств индивидуальной защиты кожи (СИЗК) подразделяют на три уровня. Величины воздействующих концентраций приведены в прил. Б ГОСТ Р 22.9.05–95 [4].

К поражающим факторам при проведении указанных работ относятся: тепловое излучение пламени, температура воздуха в зоне пожара, воздействие отравляющих веществ (ОВ) при чрезвычайных ситуациях на объектах хранения и уничтожения химического оружия, воздействие СДЯВ, АХОВ и других химических веществ (продуктов разложения), криогенное воздействие и т.д.

Комплекс СИЗ первого типа предназначен для работ, проводимых в условиях максимально возможных концентраций АХОВ ингаляционного действия, контакта с жидкой фазой веществ и воздействии открытого пламени. Этот комплекс рекомендуется для использования непосредственно на аварийном объекте или вблизи него на расстояниях менее 50 м от источника заражения.

Комплекс СИЗ второго типа используется при проведении работ при возможных концентрациях АХОВ ингаляционного действия на два-три порядка меньше максимальных; рекомендуется для использования спасателями в радиусе 50...500 м от источника заражения.

Комплекс третьего типа предназначен для проведения работ при возможных концентрациях веществ на четыре-пять порядков ниже максимальных; рекомендуется использовать для защиты спасателей на расстояниях 500...1000 м и более от источника заражения.

Комплекс СИЗ первого типа рекомендуется для спасателей первой категории (спасателей-профессионалов); комплекс СИЗ второго и третьего типов – для спасателей второй категории (спасателей-непрофессионалов).

В составе комплекса СИЗ первого типа должны предусматриваться СИЗК и СИЗОД повышенной герметичности, обеспечивающие защиту при обливов и воздействии больших концентраций опасных химических веществ. Допускается использование комплекса с автономной системой жизнеобеспечения и без нее.

В состав комплекса СИЗ второго типа должны входить защитные изолирующие костюмы, СИЗОД изолирующего и фильтрующего типа. Для кратковременной защиты от АХОВ ингаляционного действия и выхода из зоны заражения в составе комплексов СИЗ второго типа должны предусматриваться также средства аварийного спасания (самоспасатели). Допускается возможность использования СИЗОД комбинированного (фильтрующе-изолирующего) типа.

Комплекс СИЗ третьего типа должен состоять из фильтрующих СИЗОД. В его состав могут входить также фильтрующий респиратор и защитный фильтрующий костюм.

В качестве средств защиты для личного состава спасателей при проведении работ по ликвидации последствий аварий на радиационно и химически опасных объектах используют: костюмы изолирующие химические КИХ-4, КИХ-5 в комплекте с дыхательными аппаратами АСВ-2, КИП-7, КИП-8, ИП-4М; костюм защитный аварийный КЗА в комплекте с аппаратом АСВ-2; защитный изолирующий костюм Ч-20 с вентилируемым подкостюмным пространством.



### 3.2.3. Поражающие факторы в условиях пожаров в зданиях и сооружениях

Анализ происходящих в России пожаров и результаты специальных исследований показывают, что основными причинами гибели людей при пожарах являются их отравление оксидом углерода (угарным газом) и снижение содержания кислорода на путях эвакуации ниже допустимых значений (примерно 79...80 % от числа всех погибших при пожаре). В условиях пожаров при горении современных синтетических материалов образуется более 200 наименований токсичных газообразных продуктов (оксид углерода, бензол, синильная кислота, фосген, хлористый водород, акролеин, хлор, окислы азота и др.) в концентрациях, превышающих предельно допустимые в тысячи и более раз. Объемная доля оксида углерода может увеличиваться до 1,1...2,7 %, а по данным некоторых источников, до 5,6 %, диоксида углерода – до 10 %, кислорода – уменьшаться до 10...11 % (пожары на этажах и с густыми дымами) [5]. Количественный выход продуктов горения определяется не только природой материала, но и в значительной степени – условиями горения процесса. Продукты сгорания наблюдаются в виде дыма, который представляет собой дисперсную систему, состоящую из мельчайших несгоревших твердых и жидких частиц, а также газообразных токсичных продуктов горения. Образующийся при пожаре в зданиях дым может распространяться из помещения в помещение через проемы, щели и мелкие отверстия в ограждающих конструкциях.

Установлено, что при нехватке кислорода и наличии диоксида углерода происходит увеличение легочной вентиляции, что, соответственно, приводит к большему поступлению ядов, присутствующих во вдыхаемых газовых смесях. Отмечено также, что имеется эффект аддитивного действия ядов при их совместном поступлении в организм, а также усиление токсического действия ядов при повышении температуры в условиях пожара. В результате даже при относительно низком содержании вредных примесей во вдыхаемом воздухе накопление ядов в организме может достичь опасного предела.

Особенно опасным фактором при пожарах является снижение объемной доли кислорода, характерное при нахождении людей в закрытых помещениях и во время пожаров с густыми дымами. Уменьшение объемной доли кислорода во вдыхаемом воздухе ниже 14...15 % вызывает гипоксию (недостаток кислорода в крови), что приводит к кислородному голоданию.

Для проведения работ по ликвидации пожаров противопожарные службы применяют исключительно изолирующие средства защиты. В 1999 г. газодымозащитные службы (ГДЗС) были оснащены 74,7 тыс. кислородных изолирующих противогазов (КИП-8, Р-12М, Р-30, Урал-10 и Урал-7), а также 20,4 тыс. дыхательных аппаратов на сжатом воздухе (АСВ-2, АИР-317, АИР-300СВ, АП-98-7К, АИР-98МИ). Все СИЗОД включены в перечень пожарно-технической продукции, подлежащей обязательной сертификации. Техническое обслуживание СИЗОД осуществляется 1153 базами ГДЗС и 4698 контрольными постами.

В области совершенствования разработки новых СИЗОД для служб ГДЗС ставится задача создания дыхательных аппаратов со сжатым воздухом с временем защитного действия до 90 минут с использованием металлокомпозитных баллонов вместимостью 6,7...10 л и рабочим давлением до 29,4 МПа, а также внедрить компрессорные станции для наполнения баллонов дыхательных аппаратов до рабочего давления 29,4 МПа.

Что касается защиты гражданского населения при эвакуации из помещений во время пожаров, то на отечественном рынке используют изолирующие самоспасатели как с химически связанным кислородом – СПИ-20, СПИ-50, УДС-15 (ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов) и СИП-1 (ОАО «Тамбовмаш»), так и со сжатым воздухом – АДА (ОАО КАМПО, г. Орехово-Зуево), Экстремал (ОАО «Пожтехсервис», Москва). Используют также фильтрующие самоспасатели: ГДЗК (ОАО ЭХМЗ, г. Электросталь), СПФ-1 (ОАО «Тамбовмаш») и ГДЗК-У (Сорбент-Центр Внедрение, г. Пермь).

Использование при пожарах изолирующих самоспасателей представляется более предпочтительным из-за непредсказуемости обстановки по токсичным веществам и возможности падения объемной доли кислорода ниже 17 %, при которой применение фильтрующих самоспасателей запрещено. Особенно опасным фактором является снижение объемной доли кислорода, характерное при нахождении людей при пожарах в закрытых помещениях или в помещениях с ограниченным доступом воздуха, поэтому действие недостатка кислорода на человека будет рассмотрено специально.

Кроме того, в случае высокого содержания аэрозолей во вдыхаемом воздухе (например, при пожарах с густыми дымами) твердые частицы, которые задерживаются на фильтре, могут настолько увеличить сопротивление дыханию, что это не даст возможность человеку использовать фильтрующий самоспасатель для спасения.

### 3.2.4. Поражающие факторы в условиях пожаров и аварий на предприятиях горнодобывающей и горнорудной промышленности

При авариях в шахтах (взрыв метана, выбросы газов, пожары электрооборудования и т.д.) наиболее часто в атмосферу попадают такие вредные газы, как оксид углерода, диоксид серы, сероводород, окислы азота, метан, а также дым, сажа, копоть и угольная пыль. Объемная доля кислорода в шахтной атмосфере при аварии может снизиться до значения, близкого к нулю. При подземных пожарах он расходуется на окисление угля, крепи и других горючих материалов, при взрывах – на окисление метана и угольной пыли. При внезапных выбросах газа кислород вытесняется из аварийной зоны и частично или полностью замещается метаном. Искусственное уменьшение объемной доли кислорода при тушении подземных пожаров осуществляют его «выжиганием» при помощи генераторов инертного газа, запуском азота или углекислого газа.

С учетом возможного изменения атмосферы шахт, в горной и горнорудной промышленности используются только изолирующие СИЗОД. Так, для защиты органов дыхания при проведении аварийных работ горноспасатели используют изолирующие респираторы со сжатым кислородом Р-30, Р-34, Р-35 и респиратор с химически связанным кислородом РХ-90Т с ВЗД от двух до четырех часов. На повестке дня в связи с увеличением длины выработок стоит вопрос о разработке респиратора с ВЗД шесть часов. Для такого времени работы необходимо обеспечить снижение содержания кислорода во вдыхаемой ГДС на уровне 20...50 % (см. гл. 4).

Для обеспечения возможности выхода шахтеров и горнорабочих на угольных шахтах и в горнорудной промышленности используются только изолирующие самоспасатели («Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03», приказ от 07.11.2006 г. № 979 по Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору). Причиной введения такого положения стали пожары на угольной шахте «Горьковская» в 1989 г. и на золотодобывающей шахте в ООО «Дарасунский рудник» в 2006 г., когда погибли 6 и 25 человек, соответственно. Основная причина гибели людей – применение работниками фильтрующих самоспасателей, которые не обеспечили защиту органов дыхания при пожаре надлежащим образом.

### 3.2.5. Поражающие факторы в условиях пожаров и аварий на транспорте

Пожары на транспорте кроме появления продуктов горения синтетических и отделочных материалов в высоких концентрациях (оксид углерода, синильная кислота, фосген, хлористый водород, хлор и др.) опасны возможностью снижения объемной доли кислорода ниже допустимой из-за наличия замкнутых объемов (отсеки кораблей, купе вагонов и т.д.). Известно, что при проведении борьбы за живучесть кораблей команде часто приходится герметично задрать отсеки для предотвращения развития пожара.

В 1998 г. Комитет безопасности на море ИМО одобрил поправки к Международному морскому Кодексу, согласно которым каждое пассажирское и грузовое судно должно иметь на борту определенное количество судовых спасательных устройств – самоспасателей, предназначенных для эвакуации из помещения с опасной для здоровья или жизни атмосферой. К этому времени ОАО «Корпорация «Росхимзащита» доработало конструкцию самоспасателя СПИ-20 с учетом требований комитета ИМО и получило одобрение Морского и Речного Регистров России на использование этого самоспасателя на российских гражданских судах. Самоспасатель СПИ-20 поставляется на суда гражданского флота, а в 2003 – 2004 гг. специально для оснащения отечественных судов было разработано устройство дыхательное судовое УДС-15 – первое отечественное СИЗОД с химически связанным кислородом, технические характеристики которого соответствуют требованиям Европейского стандарта EN 13794:2002.

### 3.2.6. Поражающие факторы в случае применения оружия массового поражения против гражданского населения

Хотя такая ситуация представляется в настоящее время для России достаточно маловероятной, полностью исключить ее нельзя. В конце концов, остается риск терроризма, связанного с применением оружия массового поражения (ОМП) в виде отравляющих веществ, бактериальных аэрозолей, радиоактивных веществ, а также аварий на предприятиях, на которых идет уничтожение отравляющих веществ.

Описание этих поражающих факторов выходит за рамки учебного пособия, однако необходимо упомянуть, что защита от ОМП при помощи СИЗОД требует чрезвычайно высокой изоляции органов дыхания от окружающей среды.

### 3.2.7. Действие на человека воздуха с пониженным содержанием кислорода

Вдыхание воздуха с пониженной объемной долей кислорода приводит к неполному насыщению им крови в легочных капиллярах. Здоровый человек при вдыхании воздуха с объемной долей кислорода 14...15 % субъективно не ощущает недостаток последнего, так как падение парциального давления кислорода в альвеолах компенсируется увеличением легочной вентиляции. Дальнейшее уменьшение объемной доли кислорода вызывает *гипоксию* (недостаток кислорода в крови), что приводит к кислородному голоданию. Предельное значение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, ниже которого в организме человека происходят функциональные расстройства, составляет 13 кПа, что соответствует его объемной доле во вдыхаемом воздухе около 13 % при нормальном атмосферном давлении.

Признаки гипоксии – учащение дыхания и пульса, понижение способности мышления, нарушение четкости работы некоторых групп мышц. Главная опасность заключается в ее субъективной бессимптомности. Человек не ощущает угрожающую ему опасность и не принимает мер к тому, чтобы оповестить о своем самочувствии. Потеря сознания, как правило, наступает внезапно.

Снижение объемной доли кислорода в воздухе опасно не только для людей без средств защиты дыхания, но и для людей, включенных в фильтрующие самоспасатели. В последнем случае содержание кислорода во вдыхаемом воздухе дополнительно уменьшается вследствие каталитического окисления оксида углерода. Фильтрующие самоспасатели допускаются использовать при объемной доле кислорода в окружающей среде не менее 17 %. Для человека, включенного в изолирующее средство защиты, колебания содержания кислорода в воздухе опасности не представляют [2]. Необходимо отметить, что граница опасности возникновения гипоксии определяется не объемной долей кислорода во вдыхаемом воздухе, а его парциальным давлением, которое зависит также от атмосферного давления. Это необходимо учитывать при определении области применения фильтрующих самоспасателей. Так, на предприятиях угольной промышленности России в зависимости от высоты над уровнем моря давление воздуха колеблется от 70 кПа (в шахтах, расположенных в гористой местности) до 125 кПа (в глубоких шахтах). Соответствующие пределы парциального давления кислорода составляют 14,7...26,2 кПа, что эквивалентно объемной доле кислорода 14,5...25,6 % при нормальном атмосферном давлении.

## 3.3. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАЩИТЫ ИЗОЛИРУЮЩЕГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СТЕПЕНИ ИЗОЛЯЦИИ СИСТЕМЫ

ИДА являются универсальными газозащитными аппаратами, полностью изолирующими органы дыхания от окружающей среды. В этом состоит принципиальное отличие ИДА от фильтрующих СИЗОД и главное их преимущество перед последними. Однако степень изоляции системы «ИДА – органы дыхания человека» от окружающей среды, или герметичность этой системы не может быть абсолютной. Она оказывает непосредственное влияние на защитные свойства ИДА и нуждается в количественной оценке.

Основной возможностью проникновения окружающего воздуха в систему ИДА являются подсосы в зоне соединения лицевой части с органами дыхания человека.

В воздухопроводной системе ИДА или в ее составных частях в периоды вдохов создается разрежение, которое зависит от типа дыхательного аппарата и интенсивности физической нагрузки. Под действием разности давлений снаружи и внутри системы окружающий воздух, содержащий вредные примеси, может проникать вовнутрь двумя путями: первый – через недостаточно затянутые прокладочные соединения воздухопроводной системы или повреждения целостности ее оболочки; второй – через неплотное соединение лицевой части ИДА с органами дыхания человека. Проникновением в воздухопроводную систему вредных газов в результате диффузии через резиновые стенки дыхательного мешка пренебрегают из-за его незначительности.

Степень герметичности системы «ИДА – органы дыхания человека» характеризуются коэффициентом проникновения в

нее окружающего воздуха, содержащего вредные примеси, или коэффициентом подсоса

$$K_{\text{п}} = c_{\text{вн}} / c_{\text{нар}} = w_{\text{п}} / w_{\text{л}}, \quad (15)$$

где  $c_{\text{вн}}$ ,  $c_{\text{нар}}$  – объемная доля вредного газа в воздухе соответственно внутри системы в результате подсоса и снаружи нее (в окружающей среде);  $w_{\text{п}}$  – проникновение (подсос) окружающего воздуха в систему,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ ;  $w_{\text{л}}$  – легочная вентиляция,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ .

Величина, обратная коэффициенту подсоса, называется коэффициентом защиты ИДА:  $K_{\text{защ}} = 1/K_{\text{п}}$ . Этот коэффициент однозначно характеризует эффективность изоляции ИДА и органов дыхания от окружающей среды, а его числовое значение показывает, во сколько раз содержание вредного газа в воздухе, вдыхаемом из ИДА, ниже, чем в окружающем воздухе. Физический смысл указанного коэффициента подобен таковому для коэффициента токсической опасности среды  $K_{\text{т.о.}}$ .

Для обеспечения защиты органов дыхания должно соблюдаться условие

$$K_{\text{защ}} \geq K_{\text{т.о.}} \quad (16)$$

Это соотношение является основополагающим при конструировании ИДА. Очевидно, что при равенстве  $K_{\text{защ}} = K_{\text{т.о.}}$  человек, включенный в ИДА, будет вдыхать воздух с концентрацией вредного вещества, равной ПДК.

Обозначим через  $K_{\text{п1}}$  и  $K_{\text{п2}}$  коэффициенты подсоса соответственно через неплотности воздухопроводной системы и неплотности в соединении лицевой части с органами дыхания, а через  $K_{\text{защ1}}$  и  $K_{\text{защ2}}$  – коэффициенты защиты, связанные соответственно с герметичностью воздухопроводной системы и лицевой части. Тогда общий коэффициент защиты

$$K_{\text{защ}} = 1/K_{\text{п}} = 1/(K_{\text{п1}} + K_{\text{п2}}) = K_{\text{защ1}}K_{\text{защ2}}/(K_{\text{защ1}} + K_{\text{защ2}}). \quad (17)$$

Величину коэффициента подсоса через неплотности воздухопроводной системы  $K_{\text{п1}}$  можно определить по падению давления рабочей части ИДА при заданном уровне герметичности, а коэффициент подсоса через неплотности в соединении лицевой части с органами дыхания  $K_{\text{п2}}$  – по результатам испытаний на проницаемость по масляному туману (см. гл. 6) или другим тест-веществам. Отметим также, что коэффициент защиты фильтрующих СИЗОД существенно ниже аналогичного коэффициента у изолирующих СИЗОД.

## 4. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ И УСЛОВИЯМ ДЫХАНИЯ

Изолирующий дыхательный аппарат, как и всякое средство индивидуальной защиты, выполняя основную защитную функцию, вместе с тем ухудшает состояние пользователя. Можно выделить следующие основные воздействия ИДА на человека, включенного в аппарат: изменение условий дыхания, ограничение процесса восприятия и общения с окружающими, изменение теплового баланса, дополнительное воздействие на мышцы и мягкие ткани. Основной задачей разработчика является максимальное снижение воздействия аппарата на человека при условии сохранения защитных характеристик дыхательного аппарата.

### 4.1. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Прежде всего, рассмотрим изменения в условия дыхания, вносимые ИДА с химически связанным кислородом. Человек, включенный в дыхательный аппарат, вдыхает смесь с повышенными объемными долями диоксида углерода и кислорода, повышенной по сравнению с окружающей средой температурой, ему необходимо прилагать дополнительные усилия дыхательных мышц на преодоление сопротивления дыханию, оказываемого элементами ИДА потоку ГДС. В ряде случаев это ухудшение условий дыхания может привести к невозможности человека продолжать дыхание в ИДА и выключению из него. Поэтому соблюдение допустимых требований к составу газовой смеси в ИДА и условиям дыхания является одним из ключевых моментов при конструировании ИДА.

Основной принцип нормирования физиолого-гигиенических параметров ИДА состоит в том, что условия труда должны как можно меньше отличаться от естественных, а установленные физиолого-гигиеническими требованиями предельно допустимые сопротивление дыханию, газовый состав, параметры микроклимата и другие показатели не должны вызывать в организме человека физиологических реакций, выходящих за пределы приспособительных возможностей. Необходимо учитывать, что, как правило, при дыхании в ИДА одновременно присутствуют все негативные факторы, ухудшающие условия дыхания.

Условия дыхания в ИДА характеризуются, в основном, следующими показателями:

- объемной долей диоксида углерода и кислорода во вдыхаемой ГДС;
- температурой вдыхаемой ГДС;
- сопротивлением дыханию.

Эти показатели для конкретного класса ИДА нормируются стандартами и нормативными документами. До настоящего времени используются также требования Минздрава СССР.

Рассмотрим воздействие указанных факторов на человека.

**Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )** – газ без цвета, запаха, со слабым кисловатым вкусом, тяжелее воздуха. Если объемная доля диоксида углерода в воздухе составляет до 3 %, то он стимулирует дыхание. Так, в состоянии покоя повышение объемной доли  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе на 0,01 % вызывает увеличение альвеолярной вентиляции на 5 %. При вдыхании воздуха с объемной долей  $\text{CO}_2$ , равной 6 %, появляется одышка и слабость, при 10 % возможно обморочное состояние, при 20...25 % – смертельное отравление.

Источники в газовой смеси, вдыхаемой человеком из ИДА, – вредное пространство самого аппарата (в течение

всего времени работы в нем) и неполное поглощение выдыхаемого диоксида углерода в регенеративном патроне.

Как показали исследования С.А. Брандиса [2], длительное вдыхание газовых смесей с объемной долей 0,25...2 %  $\text{CO}_2$  приводит к снижению газового и тканевого обмена. Это явление усиливается при повышении объемной доли кислорода во вдыхаемой смеси, а при ее значении, равном 96 %, происходит дополнительное накопление в организме продуктов промежуточного обмена.

При вдыхании газовой смеси с объемной долей 1 %  $\text{CO}_2$  легочная вентиляция увеличивается на 8,4 %, а при 2 % – на 28,8 %. Это ведет к увеличению сопротивления дыханию и утомлению человека, а также к увеличению подсоса воздуха из атмосферы.

Требования Минздрава СССР регламентируют лишь максимально возможные значения парциального давления диоксида углерода во вдыхаемой газовой смеси: для оптимальных условий – 1,3 кПа, для допустимых – 2 кПа и для предельных – 3,3 кПа. Допускается повышение объемной доли диоксида углерода до 4,0 кПа на время до 30 мин.

Отечественными нормативными документами [6, 7] установлено, что для изолирующих самоспасателей с химически связанным кислородом объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС не должна превышать 3,0 %, а в случае аппаратов для проведения аварийных работ – 1,5 %. Также определенные требования предъявляются к средней объемной доле диоксида углерода во вдыхаемой ГДС: в частности, согласно [6] для самоспасателей эта величина не должна превышать 1,5 % (только при ВЗД более 15 мин).

При нормальном действии изолирующих средств защиты объемная доля *кислорода* в воздуховодной системе значительно выше, чем в атмосферном воздухе. В зависимости от типа таких средств и режима работы в них она колеблется от 60 до 90 %. Соответственно увеличивается парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе. Однако это не приводит к ускорению диффузии кислорода через стенки легочных капилляров и изменению процесса газообмена, так как кровь полностью насыщается кислородом и при нормальном его содержании в воздухе.

В связи с тем что систематическая работа в ИДА является профессиональной особенностью труда членов аварийно-спасательных формирований, горноспасателей и пожарных, вопрос о влиянии длительного вдыхания газовой смеси с высокой объемной долей кислорода на организм человека является актуальным и его изучению посвящено много работ. На основании анализа исследований физиологов В.В. Ходот [2] пришел к выводу, что при нормальном атмосферном давлении периодическое, в течение четырех часов, вдыхание воздуха с высокой объемной долей кислорода или даже чистого кислорода совершенно безвредно.

Брандис С.А. [2] изучал влияние вдыхания газовых смесей с различной объемной долей кислорода (40, 60, 80 и 96 %) на функциональное состояние человека в покое и при выполнении физической работы средней тяжести в течение шести часов. Результаты его исследований, в частности, подтвердили благоприятное влияние на организм человека вдыхания кислорода в начальный период работы, выражающееся в снижении расхода энергии и повышении работоспособности. Однако при вдыхании воздуха с объемной долей кислорода свыше 60 % более трех часов начинают появляться признаки, свидетельствующие о накоплении углекислого газа в организме, замедлении окислительно-восстановительных процессов в тканях. Это вызвано перенасыщением крови кислородом, что приводит к нарушению транспорта диоксида углерода. Указанные изменения в обменных процессах проявляются в снижении возбудимости центральной нервной системы и интенсивном нарастании утомления после трехчасовой физической работы в респираторе. На основании результатов исследований установлено, что продолжительность работы в респираторах со сжатым и с химически связанным кислородом не должна превышать четырех часов.

В соответствии с физиолого-гигиеническими требованиями Минздрава СССР парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе не должно превышать: для оптимальных условий 40 кПа и для допустимых – 100 кПа, что соответствует по объемной доле 40 и в 100 % при нормальном атмосферном давлении (длительность действия требованиями не регламентирована).

Увеличение *температуры вдыхаемой ГДС* является одной из основных причин, вносящих дискомфорт при использовании ИДА с химически связанным кислородом. Степень этого дискомфорта зависит от нескольких факторов: микроклимата окружающей среды, интенсивности работы и индивидуальных особенностей пользователя.

Температура воздуха, его влажность и скорость движения являются параметрами микроклимата рабочей зоны, который может быть охлаждающим, нагревающим и комфортным. Под комфортными понимаются такие условия микроклимата, при которых поддерживается тепловое равновесие между организмом человека и окружающей средой. При нарушении этого равновесия происходит либо охлаждение организма, либо накопление в нем теплоты.

Количество теплоты, образующееся в организме человека, обусловлено интенсивностью выполняемой физической работы. Выполнение работ в ИДА и эвакуация из загазованной атмосферы, как правило, связано с высокими энергозатратами, соответствующими тепловому выделению организмом до 800 Вт. Количество теплоты, поступающее извне, определяется параметрами внешнего микроклимата. Теплоотдача организма зависит не только от температуры окружающего воздуха и скорости его движения, но и от его влажности: при относительной влажности, приближающейся к 100 %, испарение пота с поверхности тела прекращается.

Диапазон температур окружающей среды, при которых возможно применение современных ИДА, составляет от минус 40 до плюс 50 °С, однако в основном ИДА используются все же при положительных температурах. Известны ограничения на время пребывания пользователя в ИДА, как, например, допустимое время непрерывной работы горноспасателя при пребывании на одном месте при различной температуре воздуха в горных выработках (табл. 7). Аналогичные ограничения времени работы горноспасателей установлены также в зарубежных странах.

Следует отметить, что при отрицательной температуре окружающей среды в условиях охлаждающего микроклимата выполняется сравнительно небольшой объем всех спасательных работ и эвакуации, при их выполнении нетрудно предотвратить переохлаждение работающего, сложнее обеспечить надежную работу самого ИДА.

При положительной температуре окружающей среды высокие энергетические или тепловые нагрузки и особенно их сочетание приводят к накоплению тепла в организме человека, включенного в ИДА. Поэтому нормирование допустимой продолжительности работы в ИДА в зависимости от параметров внешнего микроклимата так же, как и нормирование микроклимата самого аппарата, производится по фактору накопления тепла в организме и изменения его теплового состояния. Требованиями Минздрава установлены оптимальные, допустимые и предельные параметры теплового состояния человека (табл. 8).

Допустимое тепловое состояние характеризуется повышением средней температуры тела на 2 °С, а предельное – на 3

°C относительно оптимального уровня. Соответствующее удельное накопление теплоты

#### 7. Зависимость допустимого времени непрерывной работы горноспасателя от температуры воздуха [2]

Температура воздуха в горных выработках, °C	Время, мин	Интервал отрицательных температур, °C	Время, мин
27	210	0...–5	240
28	180	–5...–10	180
29	150	–10...–15	150
30	120	–15...–20	120
35	34	–20...–25	105
40	18	–25...–30	90
45	13	–30...–35	75
50	8	–35...–40	60

#### 8. Тепловое состояние человека в соответствии с требованиями Минздрава

Показатель теплового состояния	Значения показателя		
	оптимальные	допустимые	предельные
Ректальная температура, °C	36,9...37,8	37,8...38	38,6...38,7
Средневзвешенная температура кожи, °C	31,5...24	36	38...38,4
Средняя температура тела, °C	34,9...36	37,4	38,5
Удельная энтальпия тела, кДж/кг	122...126	130	134

телом человека составляет 6 и 10 кДж/кг, а абсолютное при массе тела 70 кг – 420 и 700 кДж. Предельный уровень средней температуры, составляющий 38,5 °C, граничит с тепловым ударом – болезненным состоянием, вызванным общим перегревом организма и нарушением его терморегуляции. Тепловой удар может сопровождаться потерей сознания работающего и самопроизвольным выключением его из дыхательного аппарата в условиях загазованной среды.

При ведении спасательных работ в условиях нормальной температуры окружающей среды (до 26 °C) в течение четырех часов опасность перегрева организма не возникает. Вместе с тем при сложных и ответственных работах по ликвидации аварий температура окружающей среды может быть и выше 26 °C. Во избежание перегрева спасателей в этих условиях ограничивается время их работы в зависимости от температуры (см. табл. 7). Так, при температуре 40 °C и более допускаются работы лишь при спасении людей или в непосредственной близости от свежей струи воздуха.

При вдыхании из ИДА воздуха, имеющего удельную энтальпию выше 140 кДж/кг, в организм человека поступает определенное количество тепла. Такой ИДА является источником дополнительного теплового дискомфорта. Поэтому улучшение микроклимата ИДА и правильное, научно обоснованное нормирование его температурно-влажностных параметров имеют первостепенное значение.

Работу по уточнению и физиологическому обоснованию допустимых параметров микроклимата респиратора, предназначенного для использования при проведении горноспасательных работ в шахтах, проводил В.А. Максимович [2]. Им впервые было предложено применять в качестве интегрального показателя микроклимата удельную энтальпию (теплосодержание) дыхательной смеси и обосновано ее допустимое значение, равное 155 кДж/кг. Вдыхание смеси с такой энтальпией в течение четырех часов при работе средней тяжести, температуре окружающей среды 25 °C и относительной влажности 30...40 % приводит к накоплению теплоты в количестве 210 кДж. Указанному уровню энтальпии соответствует температура воздуха 38,5 °C при относительной влажности 100 %. Значение удельной энтальпии воздуха 155 кДж/кг может быть получено и при других параметрах температуры и относительной влажности. В этих случаях ограничивается верхний предел температуры (45 °C) и нижний предел относительной влажности (40 %) во избежание неприятных субъективных ощущений в зоне верхних дыхательных путей.

Неблагоприятное воздействие на организм человека сопротивления потоку воздуха, вдыхаемому из ИДА и выдыхаемому в него, *или сопротивления дыханию* заключается в дополнительной нагрузке на дыхательную мускулатуру, что препятствует нормальному процессу дыхания и кровообращения, вызывает преждевременное утомление и ощущение дискомфорта. Преодоление сопротивления дыханию требует от дыхательной мускулатуры дополнительных затрат энергии.

Исследования различных авторов показали, что сопротивление дыханию вызывает изменения параметров вентиляционной функции легких: глубины, частоты дыхания и легочной вентиляции. При этом направленность этих изменений у разных индивидуумов не одинакова. Следствием являются некоторые изменения функции газообмена. При значительном сопротивлении на входе и, следовательно, выраженном понижении давления в грудной полости возрастает ее присасывающее действие, что отрицательно сказывается на кровообращении.

#### 4.2. НОРМИРОВАНИЕ ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Как уже отмечалось выше, ИДА делятся по назначению на два класса: самоспасатели и аппараты для проведения аварийных работ. В соответствии с этим делением предъявляются различные требования к эргономическим и физиолого-гигиеническим параметрам дыхания. Основным режимом использования самоспасателей является их постоянное ношение или пребывание на месте эксплуатации до того момента, когда потребуются необходимость их использования. Этот момент может возникнуть всего один раз за время эксплуатации. Поэтому считается, что для самоспасателей, которые, например, носят в течение всей рабочей смены, более важными являются качества, которые определяют удобство ношения (минимальная масса и габариты, сохраняемость при эксплуатационных воздействиях, длительный срок хранения и эксплуатации). Что

касается характеристик дыхания, то здесь могут быть определенные послабления.

Для самоспасателей:

– *максимально возможными должны быть:*

- а) удельное время защитного действия в расчете на единицу массы и единицу объема самоспасателя;
- б) надежность запуска и работы в заданном диапазоне внешних условий;
- в) механическая прочность и сохраняемость самоспасателя в течение гарантийного срока эксплуатации;
- г) устойчивость к воздействию внешних климатических и термических факторов;
- д) устойчивость к воздействию внешних специфических факторов (повышенное или пониженное давление, открытое пламя, повышенная тепловая радиация, воздействие линейных ускорений, вибрации и др.);
- е) отдельные эргономические показатели (способ и удобство ношения самоспасателя; форма, минимально стесняющая движения пользователя; возможность сохранения функции речи для пользователя и ее разборчивость и др.);

– *минимально возможными должны быть:*

- а) масса и габаритные размеры самоспасателя;
- б) время приведения в действие;
- в) снижение работоспособности пользователя, обусловленное постоянным ношением самоспасателя;

– *специальные критерии качества:*

- а) работоспособность при повышенном или пониженном давлении;
- б) работоспособность при экстремально низких или экстремально высоких (в условиях пожара) температурах;
- в) обеспечение защиты кожного покрова головы пользователя от воздействия открытого пламени, искр и т.п.;
- г) наличие переговорного устройства.

Требования к физиолого-гигиеническим характеристикам самоспасателей с химически связанным кислородом для России регламентированы ГОСТ 12.4.220–2001 [6] и НПБ 169–2001 [7]. За рубежом наиболее часто действует Европейский стандарт EN 13794: 2002 [8].

Для большинства потребителей средств индивидуальной защиты органов дыхания, предназначенных для выполнения аварийно-спасательных, эвакуационных и других видов работ, характеризующихся большой физической нагрузкой, наиболее приемлемым является аппарат, отличающийся максимально высокими эксплуатационными и эргономическими показателями. Последнее обусловлено необходимостью использования аппарата в экстремальных условиях в течение длительного (один час и более) времени, необходимого не только для выполнения специальных видов работ в загазованной зоне, но и для перемещения к месту выполнения таких работ и обратно.

Такой подход к использованию рабочих аппаратов определяет основные критерии их качества:

– *максимально возможными должны быть:*

- а) удельное время защитного действия в расчете на единицу массы и единицу объема аппарата;
- б) надежность запуска и работы в заданном диапазоне внешних условий;
- в) механическая прочность и сохраняемость аппарата во время эксплуатации;
- г) устойчивость к воздействию внешних факторов, характерных для аварийной обстановки (высокая температура окружающей среды и воздействие открытого пламени, искр при работе в зоне пожара); воздействие на элементы конструкции СИЗОД сильно действующих ядовитых веществ высокой концентрации (пары хлора, аммиака и т.п., облив дыхательных аппаратов жидкими СДЯВ);

д) устойчивость к воздействию внешних специфических факторов (повышенная тепловая радиация, воздействие ударных и вибрационных нагрузок и др.);

е) отдельные эргономические показатели (способ и удобство ношения аппарата; его форма, минимально стесняющая движения пользователя; возможность ведения переговоров, разборчивость речи и др.);

– *минимально возможными должны быть:*

- а) масса и габаритные размеры аппарата;
- б) сопротивление дыханию;
- в) температура вдыхаемой газовой смеси;
- г) время приведения в действие;
- д) снижение работоспособности пользователя, использующего аппарат;

– *специальные критерии качества:*

- а) работоспособность при повышенном или пониженном давлении;
- б) работоспособность при экстремально низких или экстремально высоких (в условиях пожара) температурах;
- в) обеспечение защиты кожного покрова головы пользователя от воздействия открытого пламени, искр и т.п.;
- г) оптимальное содержание кислорода в дыхательной смеси;
- д) наличие переговорного устройства;
- е) наличие индикатора степени использования защитной способности аппарата, снабженного предупреждающим сигнализатором о ее исчерпании.

Среди аппаратов для проведения аварийных работ наиболее обоснованы требования к регенеративным респираторам, используемым в угольной промышленности [2]. Исследования по обоснованию требований к респираторам проводились на установке, представляющей собой специальный регенеративный дыхательный аппарат с регулируемыми параметрами, что позволяло экспериментатору задавать испытуемым людям различные значения газового состава, температуры и влажности вдыхаемой газовой смеси, сопротивления вдоху и выдоху. Испытуемые выполняли дозированную физическую работу на эргометрических приборах, у них регистрировался весь комплекс физиологических показателей в динамике опыта, а результаты подвергались статистической обработке. Так, было изучено влияние на организм человека длительного вдыхания газовых смесей с большим содержанием кислорода, комбинированное действие таких кислородных смесей с небольшой объемной долей углекислого газа. Изучение вдыхания воздуха с различной температурой и влажностью позволило установить, что интегральным показателем влияния этих параметров на человека является удельная энтальпия воздуха.

Кроме того, было изучено влияние на организм человека массы респиратора, проведено комплексное исследование на людях большого числа отечественных и зарубежных регенеративных респираторов, серийно выпускаемых и экспериментальных.

По результатам этих работ были составлены, обоснованы и затем, по мере получения новых данных, уточнены физио-

лого-гигиенические требования к респираторам. Некоторые параметры были изменены после выхода в свет «Физиолого-гигиенических требований к изолирующим средствам индивидуальной защиты» Минздрава СССР. Учитывался также опыт нормирования этих параметров за рубежом.

В 1984 г. был введен отраслевой стандарт ССБТ ОСТ 12.43.247–83 [9]. Физиолого-гигиенические требования вошли в раздел «Эргономические требования» указанного стандарта. Требования ОСТ 12.43.247–83 учтены в проекте ГОСТ на изолирующие дыхательные аппараты, используемые при проведении горноспасательных и технических работ в подземных условиях, который разрабатывает в настоящее время ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

## 5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КИСЛОРОДОПИТАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ

Обеспечение кислородом дыхания человека, включенного в дыхательный аппарат, является ключевой задачей при проектировании ИДА. Особенностью кислородопитания ИДА с химически связанным кислородом является то, что кислород подается в дыхательный контур в результате реакции регенерации ГДС, что накладывает определенные требования к конструкции аппарата и выбору регенеративного продукта. В таких ИДА кислород содержится в виде надпероксидов щелочных металлов ( $\text{KO}_2$ ,  $\text{NaO}_2$ ) и выделяется при реакции поглощения ими диоксида углерода и водяных паров, присутствующих в выдыхаемом воздухе.

Правильный выбор регенеративного продукта для ИДА является одной из основных задач при его конструировании. Поэтому мы остановимся на основных свойствах регенеративного продукта, влияющих на функционирование ИДА, но вначале дадим краткие сведения о процессах поглощения или сорбции (от лат. *sorbeo* – поглощаю) химических веществ.

### 5.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ И СОРБЕНТАХ

В общем случае *сорбция* – это поглощение газообразных или растворенных веществ сорбентами – твердыми телами или жидкостями. Различают следующие основные виды сорбции: адсорбцию, абсорбцию, капиллярную конденсацию и хемосорбцию [10, 11]. Поглощение газов и паров твердыми сорбентами, как правило, протекает при наличии двух или более из указанных процессов, однако один из них является основным, определяющим.

Первые три из названных видов сорбции – процессы физические, обусловленные силами взаимного притяжения молекул сорбента и поглощаемого вещества. *Адсорбция* – поглощение вещества поверхностным слоем поглотителя (адсорбента); *абсорбция* – поглощение, сопровождающееся диффузией поглощаемого вещества вглубь поглотителя (абсорбента) с образованием раствора, т.е. поглощение всем объемом поглотителя. В некоторых случаях, помимо адсорбции, поглощение газа происходит в результате *капиллярной конденсации* его в порах твердого тела.

*Хемосорбция* – процесс сорбции, при котором поглощаемое вещество и поглотитель (хемосорбент) взаимодействуют химически, в результате чего образуется новое химическое соединение.

Сорбенты, применяемые для очистки воздуха от вредных газов в СИЗОД, – это твердые гранулированные или дробленые вещества. Наиболее распространенными типами адсорбентов являются активированный уголь, силикагель, алюмогель, цеолиты. На применении адсорбентов для очистки вдыхаемого воздуха от вредных веществ основан принцип действия фильтрующих СИЗОД. В изолирующих СИЗОД для очистки ГДС применяются исключительно хемосорбенты.

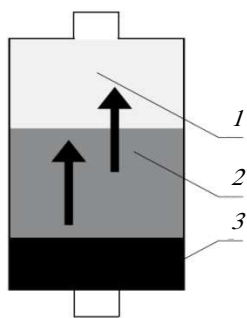
Из общих физических свойств сорбентов наиболее важным является их пористая структура. Макро- и микропоры пронизывают гранулы сорбента во всех направлениях и обеспечивают большую поверхность его соприкосновения с очищаемым воздухом. Адсорбенты характеризуются значительной поверхностью пор: удельная поверхность пор у активированного угля равна 300...500 м<sup>2</sup>/г (у некоторых образцов доходит до 2000 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. Пористость неорганических хемосорбентов значительно меньше: например, удельная поверхность пор известкового поглотителя ХП-И составляет 8...12 м<sup>2</sup>/г.

Благодаря самой природе физического процесса адсорбции и большой активной поверхности адсорбента он поглощает газ практически мгновенно. Адсорбция – обратимый процесс: все поглощенное вещество может быть удалено в результате обратного процесса десорбции, в связи с чем адсорбенты легко регенерируются. Процесс адсорбции экзотермический, но количество теплоты, выделяемое при этом, невелико и близко по значению к теплоте конденсации.

Процесс хемосорбции протекает медленнее, чем адсорбции, так как контакт между поглощаемым газом и активной поверхностью хемосорбента затрудняется образующейся пленкой продуктов реакции, а сама поверхность пор меньше, чем у адсорбента. При поглощении газа хемосорбентом выделяется большее количество теплоты, что приводит к нагреву очищаемого воздуха и самого поглотителя. Теплота реакции поглощения некоторых сорбентов (например, кислородсодержащего продукта) столь велика, что приводит в некоторых случаях к спеканию и даже плавлению гранул.

Процессы адсорбции целесообразно рассматривать на примере цилиндрического патрона с прохождением через него очищаемого воздуха вдоль центральной оси патрона (рис. 18). Элементарный слой поглотителя на входе в патрон называют лобовым, а аналогичный слой в конце патрона – замыкающим. В теории сорбции существует понятие «работающий слой поглотителя». Это слой сорбента, ограниченный двумя перпендикулярными к направлению движения газовой воздушной





**Рис. 18. Схема поглощения газа сорбентом в фильтрующем патроне по слоям:**  
1 – замыкающий; 2 – работающий; 3 – лобовой

смеси плоскостями, который активно поглощает газ. В начале работающего слоя сорбент максимально насыщен поглощаемым газом, по ходу потока степень насыщения его уменьшается, а в конце слоя процесс сорбции только начинается.

Длина работающего слоя при прочих равных условиях зависит от скорости процесса сорбции. В поглотительном патроне с адсорбентом она может быть меньше, чем общая длина рабочей части слоя сорбента. При установившемся процессе в патроне существуют три зоны: зона с полностью отработанным поглотителем; работающий слой, перемещающийся по направлению движения потока газовой смеси, и зона, в которой

поглощение еще не происходит. Когда работающий слой достигает замыкающего слоя патрона, начинается проскок поглощаемого газа, т.е. неполное его поглощение. Такая работа сорбента в патроне называется послойной схемой его обработки.

Иными словами, при работе сорбента в поглотительном патроне существуют два периода: допроскоковый и проскоковый. Длительность работы в проскоковом периоде ограничивается предельно допустимым проскоком, который устанавливается нормативными документами. В любом случае к концу допроскокового периода в патроне остается некоторое количество не полностью отработанного сорбента, уменьшающееся в проскоковом периоде. Чем больше общая длина слоя сорбента в патроне при прочих равных условиях, тем меньше доля неотработанной его части по отношению ко всей массе сорбента, выше коэффициент его полезного использования и больше длительность работы, или время защитного действия. Однако увеличение общей длины слоя поглотителя приводит к повышению сопротивления патрона проходящему воздуху.

В патроне с хемосорбентом (рис. 19) зона с полностью отработанным поглотителем не образуется. Длина работающего слоя увеличивается в течение всего допроскокового периода, и он при этом не «отрывается» от лобового слоя. Когда фронт работающего слоя патрона достигает замыкающего, начинается проскок поглощаемого газа. Однако и в этот момент лобовой слой может быть не насыщен газом. Полное его насыщение может произойти, если патрон долгое время будет работать в проскоковом периоде. Такая работа сорбента в патроне называется схемой работы всей массы поглотителя.

Существенной особенностью хемосорбентов по сравнению с адсорбентами является их высокая поглотительная способность на единицу массы. Известные хемосорбенты способны поглощать диоксид углерода в количестве, значительно большем, чем адсорбенты. Поэтому для очистки выдыхаемого воздуха от диоксида углерода в ИДА применяются только хемосорбенты.

В состав хемосорбентов входят основное вещество, вступающее в химическую реакцию поглощения диоксида углерода и паров воды, и добавки, придающие им необходимые физические свойства и активизирующие реакцию. Сорбционные свойства хемосорбента характеризуются тремя показателями:

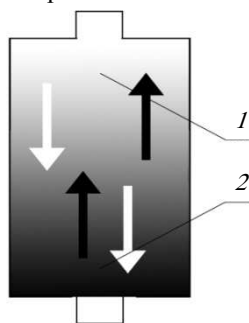
стехиометрической, статической и динамической активностями, которые измеряются количеством поглощенного вещества (в объемных или массовых единицах) на единицу массы сорбента.

*Стехиометрической активностью* называется максимальное, теоретически возможное количество вещества, поглощаемое единицей массы активной части хемосорбента, т.е. основного вещества (без добавок и технологических примесей). Стехиометрическая активность определяется из уравнения химической реакции.

*Статической активностью* называется количество вещества, поглощенное единицей массы хемосорбента к моменту достижения сорбционного равновесия, при котором дальнейшее поглощение прекращается. Статическая активность устанавливается экспериментально при определенной концентрации поглощаемого газа в воздухе и температуре последнего. Ее значение всегда меньше стехиометрической активности.

*Динамической активностью* называется количество вещества, поглощенное единицей массы сорбента до момента появления проскока в динамических условиях, т.е. в реальном регенеративном патроне, через который проходит реальный поток воздуха, содержащего определенное количество диоксида углерода. На практике распространение получила характеристика хемосорбента, называемая удельной сорбционной емкостью в динамических условиях, которая выражается объемом газа, поглощенного единицей массы хемосорбента при работе в динамических условиях до значения проскока газа, установленно нормативными документами для данного регенеративного патрона или ИДА. Ее значение всегда меньше статической активности и является основной определяющей характеристикой хемосорбента при его работе в конкретных динамических условиях.

На удельную сорбционную емкость оказывают влияние характеристики хемосорбента, регенеративного патрона и объемного расхода ГДС, содержащего сорбируемый компонент. Повышенную сорбционную емкость имеет хемосорбент с высокими значениями стехиометрической и статической активности и с большей поверхностью пор. Уменьшение размера гранул также приводит к увеличению сорбционной емкости, но не за счет увеличения их поверхности, а в связи с ростом



**Рис. 19. Схема поглощения диоксида углерода хемосорбентом по слоям:**  
1 – работающий; 2 – лобовой



скорости диффузии сорбируемого вещества внутрь гранул. Увеличению удельной сорбционной емкости способствуют большая длина слоя хемосорбента в патроне, а также равномерное распределение потока воздуха по поперечному сечению патрона. Увеличение средней или мгновенной скорости потока воздуха приводит к уменьшению удельной сорбционной емкости.

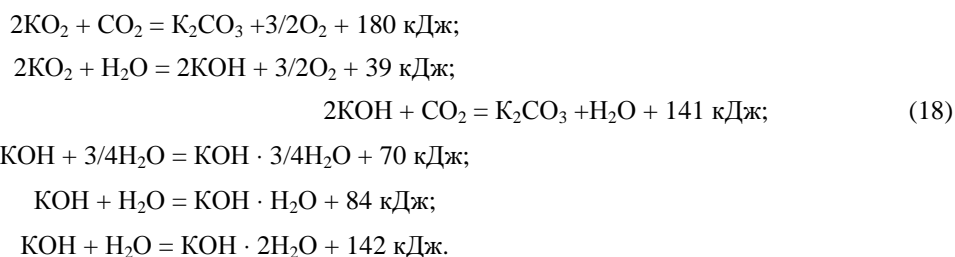
Известны методы расчета поглотительных и регенеративных патронов, основанные на теории динамической активности сорбентов. Однако в расчетные формулы входят коэффициенты, которые могут быть определены только экспериментально для конкретных динамических условий. Применение же коэффициентов, полученных при несколько иных условиях, позволяет получить лишь ориентировочные данные. Поэтому разработка регенеративных патронов, как правило, проводится путем анализа работы имеющихся аналогов, выбора по его результатам параметров патрона, а затем экспериментальной их отработки на динамической установке, имитирующей дыхание человека.

К хемосорбентам диоксида углерода предъявляют следующие основные технические требования: они должны обладать высокой удельной сорбционной емкостью; сопротивление потоку проходящего через них воздуха должно быть как можно ниже; увеличение удельной энтальпии очищаемого воздуха должно быть небольшим; сорбент должен быть прочным на истирание и при работе не выделять веществ в виде газа, пара или аэрозолей, раздражающих органы дыхания. Кроме того, хемосорбент должен длительное время сохранять свои поглотительные свойства и изготавливаться из недефицитного и дешевого материала.

В ИДА используются две основные группы хемосорбентов: кислородсодержащий продукт и известковый поглотитель диоксида углерода.

## 5.2. КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЙ ПРОДУКТ

Основой кислородсодержащего продукта являются надпероксиды щелочных металлов: калия и натрия. На примере надпероксида калия рассмотрим реакции поглощения им диоксида углерода и влаги и выделения кислорода. Эти реакции протекают неоднозначно и зависят от условий, в которых находится регенеративный продукт: температуры, соотношения количеств диоксида углерода и влаги в регенерируемом воздухе, скорости воздушного потока и других факторов. Процесс регенерации описывается следующими уравнениями основных химических реакций [2]:



При определенных условиях протекают также реакции с образованием  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{KCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}_2$ . В связи с тем что в регенеративном патроне в зоне реакции развивается значительная температура (200...400 °С), эти вещества разрушаются и не являются конечными продуктами реакций. В зоне реакции может также произойти термическое разложение надпероксида с образованием пероксида или даже оксида калия и выделением кислорода. Такое разложение характерно для регенеративного продукта на основе надпероксида натрия. При изучении же регенерации воздуха продуктом на основе  $\text{KO}_2$  практический интерес представляют лишь приведенные выше реакции, которые можно представить в следующем обобщенном виде:



где  $A, B, D, f, p, n$  и  $m$  – коэффициенты, которые зависят от условий протекания реакции.

Исходя из закона сохранения веществ, т.е. равенства числа однозначных атомов в левой и правой частях уравнения (19), получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} A &= 2f + p \text{ (по калию);} \\ 2B &= p(1 + 2n) \text{ (по водороду);} \\ D &= f \text{ (по углероду);} \\ 2A + B + 2D &= 3f + p(1 + n) + 2m \text{ (по кислороду).} \end{aligned} \quad (20)$$

Для решения и анализа этих уравнений введем дополнительно два коэффициента. Первый из них, молярный коэффициент влаги, выражает молярное отношение влаги к диоксиду углерода, участвующих в реакции:  $\omega = B/D$ . Второй, коэффициент регенерации, обозначает молярное отношение выделившегося кислорода к поглотившемуся диоксиду углерода:  $K_{\text{рег}} = m/D$ . Из системы уравнений (20) исключим  $f$  и  $p$ , выразим  $B$  через  $\omega$  и  $D$ , введем коэффициент  $K_{\text{рег}}$  и решим систему относительно  $D$  и  $m$ , характеризующих поглощение диоксида углерода и выделение кислорода. После ряда преобразований получим, что:

$$D = 0,75 A / K_{\text{рег}}; \quad (21)$$

$$m = 0,75 A; \quad (22)$$

$$K_{\text{рег}} = 1,5 + 1,5\omega / (1 + 2n). \quad (23)$$

Данные уравнения отражают закономерности сорбции диоксида углерода и выделения кислорода надпероксидом калия при стационарном (установившемся) процессе работы регенеративного патрона. Из уравнения (22) следует, что молярное отношение выделившегося кислорода к вступившему в реакцию надпероксиду калия равно 0,75, что соответствует выделению 237 л (СУ) кислорода на 1 кг  $\text{KO}_2$ . Это отношение не зависит от количества молей воды, участвующей в реакции, и конечного вида образующихся продуктов.

В отличие от выделения кислорода поглощение диоксида углерода в большей степени зависит от указанных факторов. Как видно из уравнений (21) и (23), их влияние на удельную сорбционную емкость надпероксида по  $\text{CO}_2$   $v_c$  (л/кг) выражается через коэффициент регенерации  $K_{\text{рег}}$ . Значения коэффициента регенерации и удельной сорбционной емкости надпероксида калия, которые определены по формулам (21) и (23) при различном количестве влаги, участвующей в реакции приведены в табл. 9. Это количество выражено через параметр  $d$  (отношение массы воды в г на 1 кг сухой части регенерируемого воздуха) и соответствующий ему молярный коэффициент влаги  $\omega$ . Значения  $K_{\text{рег}}$  определены для крайних значений параметра  $d$ , который в зависимости от условий работы продукта может изменяться от 0 до 2.

### 9. Зависимость удельной сорбционной емкости надпероксида калия от условий проведения реакции

Условия протекания реакции			Удельная сорбционная емкость по $\text{CO}_2$	
$d$ , г/кг	$\omega$	$K_{\text{рег}}$	молей на 1 моль $\text{KO}_2$	л на 1 кг $\text{KO}_2$ (CV)
40	1,6	3,9...1,98	0,19...0,38	60...120
30	1,2	3,3...1,86	0,23...0,40	73...126
20	0,8	2,7...1,74	0,28...0,43	88...136
10	0,4	2,1...1,62	0,36...0,46	113...145
0	0	1,5	0,5	157

Как видно из данных табл. 9, увеличение количества поглощенной влаги приводит к возрастанию коэффициента регенерации, а уменьшение – к его снижению. Удельная сорбционная емкость надпероксида обратно пропорциональна коэффициенту регенерации. Количество влаги, участвующей в реакции, определяется ее массовой долей в выдыхаемом воздухе. Молярный коэффициент влаги для воздуха, выдыхаемого человеком и содержащего объемную долю  $\text{CO}_2$  4 % и 40 г влаги на 1 кг сухого воздуха, равен 1,6. Практически в процессе регенерации выдыхаемого воздуха поглощается около 75 % содержащейся в нем влаги, т.е.  $\omega = 1,2$ . В этом случае  $K_{\text{рег}} = 1,86...3,3$ . Такой режим работы супероксида калия, особенно при  $K_{\text{рег}} = 3,3$  и выше, нежелателен по фактору экономичности расходования запаса кислорода. За счет регулирования массовой доли влаги в воздухе, поступающем в регенеративный патрон, можно увеличить удельную сорбционную емкость надпероксида калия по  $\text{CO}_2$  и уменьшить избыточное выделение кислорода. Максимальная удельная сорбционная емкость получается при  $\omega = 0$  и  $K_{\text{рег}} = 1,5$ . Однако указанные значения  $\omega$  и  $K_{\text{рег}}$  при стационарном режиме чисто условны, так как реакция (19) не может протекать при отсутствии в воздухе влаги.

Считается, что для нормального функционирования ИДА коэффициент регенерации должен быть не менее 1,2. Если  $K_{\text{рег}}$  значительно превышает указанную величину, происходит непроизводительное расходование запаса кислорода, однако если  $K_{\text{рег}}$  меньше величины 1,2, то кислорода может оказаться недостаточным для дыхания. Ниже будут описаны различные способы влияния на величину  $K_{\text{рег}}$ .

В начальный (пусковой) период так же, как перед окончанием времени защитного действия, работа надпероксида калия не подчиняется полностью уравнениям (21) – (23). В пусковой период в холодном продукте на базе супероксида происходит образование бикарбоната калия, что приводит к уменьшению коэффициента регенерации ниже единицы. Продолжительность работы продукта в таком режиме тем длительнее, чем ниже температура окружающей среды и меньше дыхательная нагрузка. Поэтому в начале работы ИДА с химически связанным кислородом необходимо заполнение его дыхательного мешка кислородом от постороннего источника (пускового устройства). Для этого обычно используются устройства, в которых кислород выделяется при химической реакции разложения активной массы. Теплота и влага, выделяющиеся при указанной реакции, способствуют нагреванию кислородсодержащего продукта и активизации его работы в начальный период. При нормальной температуре окружающей среды регенеративный патрон с надпероксидом калия можно «раздышать» и без пускового устройства, однако это требует от человека определенного навыка.

К концу работы продукт на базе надпероксида калия имеет такую высокую температуру, что могут разрушаться гидраты гидроксида калия. Освободившаяся щелочь активно поглощает диоксид углерода. В то же время количество непрореагировавшего надпероксида калия уменьшается, коэффициент регенерации снижается и может приблизиться к нулю.

Теплота реакции сорбции диоксида углерода в соответствии с приведенными выше уравнениями составляет 180 кДж на 1 моль  $\text{CO}_2$ . Для влаги же она зависит от конечного состава продуктов реакции, т.е. от параметров  $p$  и  $l$  в уравнении (19). При  $l = 0$  образуется гидроксид калия, и теплота этой реакции равна 39 кДж на 1 моль поглощенной  $\text{H}_2\text{O}$ . При образовании кристаллогидратов  $\text{KOH} \cdot l\text{H}_2\text{O}$  теплота составляет 71...93 кДж, равняясь в среднем (при образовании моногидрата  $\text{KOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 84 кДж.

Всего при поглощении  $B$  молей  $\text{H}_2\text{O}$   $pn$  молей поглощается в виде гидратов, а остальное количество воды, равное  $(B - pn)$  молей, расходуется на образование гидроксида калия. Исходя из этого, общую теплоту сорбции влаги выдыхаемого воздуха супероксидом калия (кДж) можно определить по формуле

$$q_{\text{вл}} = 84pn + 39(B - pn). \quad (24)$$

Коэффициенты  $l$  и  $p$  находятся из уравнений (20) и (23). Значения параметров  $K_{\text{рег}}$  и  $B$  в указанных уравнениях легко могут быть определены экспериментально.

Суммарная теплота химических реакций регенерации выдыхаемого воздуха складывается из теплоты сорбции  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и составляет 230...290 кДж на 1 моль  $\text{CO}_2$  или 320...405 кДж на 1 кг регенерируемого воздуха. Это значительно выше, чем теплота реакции сорбции диоксида углерода известковым или щелочным поглотителем. Большое количество выделяющейся в патроне теплоты приводит к сильному нагреванию проходящего воздуха, самого вещества и корпуса регенеративного патрона. Теоретически средний уровень удельной энтальпии регенерируемого воздуха в указанных условиях при отсутствии теплоотвода составляет 450...540 кДж/кг. Однако в результате интенсивного теплоотвода в окружающую среду через стенки патрона, а также теплоотдачи кислородсодержащего продукта температура выходящего из него воздуха при дыхательном

режиме № 5 снижается до 100...180 °С, а удельная энтальпия – до 120...200 кДж/кг, что ниже удельной энтальпии воздуха, прошедшего через патрон с известковым или щелочным сорбентом.

Высокая температура в зоне реакции (300...400 °С) в сочетании с легкоплавкостью образующихся веществ является причиной оплавления и спекания кислородсодержащего продукта. В некоторых случаях чрезмерное разогревание продукта может привести к его термическому разложению с образованием дополнительного кислорода, увеличению коэффициента регенерации больше его значений, приведенных в табл. 9, и снижению поглотительной способности по диоксиду углерода.

Поскольку кислородсодержащий продукт очень активно поглощает влагу и диоксид углерода из окружающего воздуха, снаряжение им регенеративных патронов производится только в заводских условиях. Патроны с продуктом так же, как и патроны с щелочным сорбентом, – одноразового использования. После полной или частичной отработки их снимают с ИДА и в связи с пожароопасностью продукта уничтожают, соблюдая требования, предусмотренные специальной инструкцией.

### 5.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПРОДУКТОВ

Можно сформулировать следующие основные требования к регенеративному продукту, используемому в ИДА:

- регенеративный продукт должен эффективно поглощать диоксид углерода, выделяемый человеком при различных нагрузках;

- регенеративный продукт должен выделять кислород в объеме, обеспечивающем потребности в нем человека при различных нагрузках;

- коэффициент регенерации продукта должен быть не менее 1,2;

- продукт должен быть достаточно прочным во избежание разрушения при механических воздействиях;

- регенеративный продукт в патроне должен оказывать минимальное сопротивление прохождению через него ГДС.

В промышленные регенеративные продукты входят надпероксиды щелочных металлов и различные добавки, улучшающие процесс регенерации. Имеются два основных способа получения надпероксидов: путем сжигания щелочных металлов в специальных реакторах и при взаимодействии щелочи с пероксидом водорода  $H_2O_2$  в жидкой фазе. Получаемые в результате этих реакций надпероксиды отличаются по своим характеристикам.

Технология изготовления регенеративного продукта в общем случае включает в себя:

- подготовку и изготовление шихты, включающей кроме надпероксидов щелочных металлов различные добавки;

- прессование шихты в виде блоков, таблеток, пластин;

- дробление (при необходимости) и отсев дробленого продукта в соответствии с требованиями технической документации.

Подробное рассмотрение технологии изготовления регенеративного продукта выходит за рамки настоящего учебного пособия. Здесь упомянем, что технологические параметры изготовления регенеративного продукта являются ключом к изменению его характеристик.

В современных изолирующих дыхательных аппаратах используется большой спектр регенеративных продуктов, которые можно выделить в группы по двум признакам: по химическому составу и по форме насадки.

По химическому составу различают продукты на основе надпероксидов натрия (Б-2И) и калия (ОКЧ-2, ОКЧ-3, ОКЧ-3М, РБ-Р, О-3, ПРТ-9). За редким исключением, отечественные и зарубежные фирмы применяют регенеративный продукт на основе надпероксида калия. Это связано с тем, что надпероксид натрия имеет низкую термостойкость, которая не позволяет полностью реализовать высокую емкость данного продукта по диоксиду углерода в условиях эксплуатации в индивидуальном дыхательном аппарате. Избыточное выделение кислорода продуктом на основе  $NaO_2$  ведет к увеличению тепла, выделяемого при реакции регенерации, и, соответственно, к увеличению температуры вдыхаемой ГДС.

Способность  $KO_2$  легко плавиться в процессе отработки аппарата требует введения в рецептуру армирующих, структурообразующих добавок. В традиционных рецептурах эту роль играют оксид кальция и асбест.

Анализ характеристик современных регенеративных патронов ИДА показывает, что степень использования емкости продуктов составляет около 60 %, аппараты имеют высокое сопротивление дыханию. Поэтому совершенствование регенеративного продукта является важнейшим направлением улучшения характеристик дыхательного аппарата в целом.

Улучшить характеристики регенеративного продукта можно несколькими способами. Одним из основных направлений улучшения является выбор оптимальной рецептуры продукта для конкретного аппарата. Известно, что продукты, содержащие гигроскопические добавки, например, гидрооксиды калия, и катализаторы обеспечивают высокую скорость поглощения диоксида углерода, особенно при низких температурах. В качестве катализатора при этом рассматривались соли тяжелых металлов (Cu, Co, Mo, Cr). В этих условиях они препятствуют образованию перекисных продуктов реакций взаимодействия диоксида углерода и паров воды с надперекисными соединениями.

Добавка инертных носителей и поглотителя диоксида углерода снижает нагрузку на регенеративный продукт и коэффициент регенерации. Поскольку теплота реакции диоксида углерода с поглотителем меньше таковой для реакции с надпероксидами, добавление поглотителя ведет к снижению общей теплоты реакции и уменьшению температуры вдыхаемой газовой смеси. Вторым назначением поглотителя является улучшение разрабатываемости продукта при отрицательных температурах.

Так, фирма CSE Corporation (США) разработала и изготовила изолирующий дыхательный аппарат на химически связанном кислороде (SR 100), в котором задача повышения степени использования регенеративного продукта решается размещением в патроне слоя гидроокиси лития (50 г) и слоя регенеративного продукта, представляющего собой смесь 585 г надпероксида калия и 120 г гидрооксида лития. Слои поддерживаются экранами из нержавеющей стали и фильтрами из стекловолокна.

Для обеспечения возможности использования самоспасателя OXY-K 90G, разработанного фирмой «Dräger» (Германия), в условиях отрицательных температур предусматривается обработка регенеративного продукта, находящегося в патроне, дозированным количеством влаги для образования «in situ» щелочи на поверхности гранул, что позволяет улучшить сорбцию  $CO_2$  в начальный период.

Другим направлением совершенствования регенеративного продукта является подбор формы насадки применительно к конкретному аппарату.

По форме насадки серийно выпускаемые отечественной промышленностью продукты можно разделить на зерновые (Б-2И, ОКЧ-2, ОКЧ-3, ОКЧ-3М), блоковые (РБ-Р), таблетированные (ПРТ-9П), пластины.

Зерновые продукты на основе надпероксида калия обеспечивают высокую динамическую активность, которая во многом определяется геометрическими размерами зерен продукта, но при этом слой мелкозернового продукта создает большое сопротивление дыханию в аппарате, которое растет по мере отработки продукта.

Блоковые продукты решают проблему снижения сопротивления дыханию, но при этом, как правило, уступают зерновым продуктам по активности как на единицу веса, так и на единицу объема. Затруднена разработка таких продуктов при низких температурах.

Таблетированные продукты занимают промежуточное положение между блоковыми и зерновыми по динамической активности и сопротивлению потоку ГДС. Первой на мировом рынке этот продукт представила фирма «L'air Liquid» (Франция). Образцы аппаратов с таким продуктом выпускают французская фирма Speria Protection, немецкая фирма Drager и ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

В настоящее время в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» проводится разработка регенеративного продукта в виде пластин из надпероксида калия, нанесенного на минеральную подложку (например, стекловолокно). В состав продукта также входят и другие компоненты, в частности гидрооксид калия.

Получаемый продукт имеет ряд особенностей:

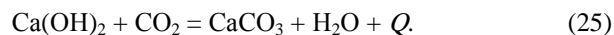
- развернутая, доступная для молекул диоксида углерода и воды поверхность;
- меньшая температура рабочей зоны и меньшее выделение тепла в процессе регенерации;
- фронт реакции растянут по длине слоя;
- продукт обладает свойством «саморегуляции», т.е. в зоне наиболее интенсивной реакции возрастает аэродинамическое сопротивление, за счет чего ГДС равномерно распределяется в поперечном сечении регенеративного патрона.

Благодаря указанным особенностям регенеративный продукт на минеральной подложке обладает высокой поглощающей способностью по диоксиду углерода (до 140...150 нл/кг), а также обеспечивает существенно лучшие условия дыхания (меньшие температура вдыхаемой ГДС и сопротивление дыханию при более высокой влажности) по сравнению с традиционными регенеративными продуктами. Этот продукт отличается меньшим разогревом в процессе использования дыхательных аппаратов по назначению, что позволяет размещать его не в металлическом корпусе, а в пластмассовом.

Рецептура регенеративного продукта и форма насадки выбираются при конструировании ИДА, исходя из технических требований к аппарату.

#### 5.4. ИЗВЕСТКОВЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Основой известкового поглотителя диоксида углерода является гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , или гашеная известь. Реакция поглощения диоксида углерода указанным веществом имеет следующий вид:



Эта реакция экзотермическая и протекает с выделением одного моля воды на один моль диоксида углерода. Кроме того, выделяется часть влаги, содержащейся в поглотителе, в результате чего проходящий через патрон воздух нагревается и увлажняется.

В России в качестве хемосорбента в респираторах со сжатым кислородом применяется, в основном, химический поглотитель известковый ХПИ по ГОСТ 6755–88. Его технические характеристики:

Химический состав, %:

NaOH от массы сухого вещества .....	около 4
H <sub>2</sub> O от общей массы .....	16...21
CO <sub>2</sub> от общей массы .....	не более 4
Ca(OH) <sub>2</sub> – основное вещество .....	остальное

Размеры зерен по фракциям, %:

от 5,5 до 6,5 мм .....	не более 5
от 5,5 до 6,5 мм .....	не менее 90
от 5,5 до 6,5 мм .....	не более 5
менее 1 мм .....	не более 0,6

Насыпная масса, кг/дм<sup>3</sup> 0,85...0,95

Прочность на истирание, % не менее 0,65

Сорбционные показатели, л/кг (СУ):

стехиометрическая активность	не менее 300
статическая активность	210...215
удельная сорбционная емкость	125...150

В состав ХПИ кроме основного вещества входят добавки – гидроксид натрия и вода. Добавим, что в 2008 г. освоено серийное производство известкового поглотителя ХПИ-К, разработанного ОАО «Корпорация «Росхимзащита», в котором в качестве добавки вместо гидроксида натрия входит гидроксид калия. Этот поглотитель обеспечивает более эффективное поглощение диоксида углерода по сравнению с ХПИ, в том числе при отрицательных температурах.

## 6. ОСНОВНЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В настоящей главе будут рассмотрены основные составные части ИДА с химически связанным кислородом: лицевые части, регенеративные патроны, дыхательные мешки, элементы из пластмассы, а также технология их изготовления.

### 6.1. ЛИЦЕВЫЕ ЧАСТИ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ

Лицевые части ИДА предназначены для изоляции и защиты органов дыхания, глаз и кожи лица, а в отдельных случаях и головы от окружающей среды, направления выдыхаемой газовой дыхательной смеси в регенеративный патрон, подведения очищенной от диоксида углерода и обогащенной кислородом ГДС к органам дыхания. Лицевые части определяют такие основные характеристики ИДА, как коэффициент защиты, степень наминов на мягкие ткани головы, разборчивость речи, видимость и т.д. В зависимости от области применения изолирующих дыхательных аппаратов и условий их эксплуатации, ИДА комплектуются разными видами лицевых частей.

К лицевым частям изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде предъявляются следующие основные технические требования:

- работоспособность и сохранение видимости в интервале температур эксплуатации изолирующего дыхательного аппарата, для которого она предназначена;
- минимальная масса;
- минимальное количество размеров (ростов), охватывающих контингент лиц с различными морфологическими размерами;
- обеспечение минимального механического воздействия на мягкие ткани головы, не вызывающего расстройство кровообращения (намины) и резких болевых ощущений;
- обеспечение величины коэффициента подсоса по масляному туману по полосе обтюрации в соответствии с условиями эксплуатации;
- стойкость в составе изолирующего дыхательного аппарата к воздействию механических факторов (транспортирование, удары, вибрация);
- поля или углы зрения, обеспечивающие должный обзор;
- возможность ведения переговоров.

Материал лицевой части по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям должен быть допущен к применению в средствах защиты органов дыхания органами здравоохранения РФ.

Лицевые части бывают следующих видов:

- *загубник с носовым зажимом и очками*, закрывающий нос и рот;
- *полумаска*, закрывающая нос, рот и подбородок;
- *шлем-маска*, закрывающая голову;
- *маска*, закрывающая нос, рот, подбородок и глаза;
- *колпак*, закрывающий голову и частично шею.

#### 6.1.1. Загубник с носовым зажимом

Загубник представляет собой формованную резиновую дугообразную пластину с патрубком на одной стороне для соединения гофрированной трубки и двумя выступами с утолщением на концах с противоположной стороны для удобного захвата зубами и удержания загубника во рту пользователя. К загубнику с помощью нити крепится носовой зажим, состоящий из двух резиновых кнопок, соединенных между собой пружиной, который предотвращает случайное попадание токсичной атмосферы через нос при использовании загубника. При использовании загубника с носовым зажимом в качестве лицевой части аппаратов экстренной защиты (самоспасателей) они комплектуются защитными очками (рис. 20).



Рис. 20. Средства защиты:

1 – загубник; 2 – носовой зажим; 3 – защитные очки

Очки предназначены для защиты глаз от воздействия твердых частиц, пыли, брызг жидкостей, раздражающих газов, которые могут вызвать ожоги или раздражение глаз, слезотечение и другие явления. Защитные очки, используемые в ИДА, представляют собой резиновый корпус, состоящий из двух колец, обтюлятора и наголовной ленты. В корпусе предусмотрены ободки для стекол, отлитые в виде цилиндров и составляющие с корпусом одно целое. Для размещения стекол в кольцах резиновых ободков имеются специальные пазы. С целью исключения запотевания стекол вместе со стеклами в эти же пазы вставляется незапотевающая пленка, представляющая собой триацетатную или полиэтилентерефталатную пленку (основу) с желатиновым слоем, который поглощает влагу и препятствует образованию капель на поверхности стекол.

Замена стекол и незапотевающих пленок возможна вручную без применения инструмента. Защитные очки могут складываться пополам и храниться вместе с рабочей частью самоспасателя внутри футляра.

Защитные очки должны отвечать определенным требованиям, включающим следующие основные показатели: размеры очковых стекол, межцентровые расстояния, поле зрения, общее светопропускание, зависящее от запотевания стекол, массу, ударную прочность стекол, а также, при необходимости, морозостойкость.

Очки должны удобно и плотно прилегать к лицу в течение 270 мин, при этом индекс тяжести наминов должен быть не более 1,5 при отсутствии наминов третьей степени. Коэффициент подсоса по масляному туману по полосе обтюрации защитных очков должен быть не более  $10^{-2}$  %. Материал очков по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям должен быть допущен к применению в СИЗОД органами здравоохранения РФ.

Загубник с носовым зажимом и очками используется в основном в самоспасателях для угольной промышленности, в этом случае сопротивление материала очков должно быть не более  $10^9$  Ом с целью обеспечения электростатической безопасности.

### 6.1.2. Полумаска

Полумаска как самостоятельная лицевая часть в ИДА не используется. Она используется в составе защитных колпаков, где закрывает нос, рот и подбородок и обеспечивает защиту органов дыхания с коэффициентом подсоса по масляному туману по полосе обтюрации не более  $10^{-2}$  %. Подбор полумаски производится по измерению морфологической высоты лица  $B_3$  (расстояние между точкой наибольшего углубления переносицы и самой нижней точкой подбородка) по следующим данным: первый размер – высота 99...109 мм, второй размер – высота 109...119 мм, третий размер – высота 119 мм и выше.

Наиболее распространена в России полумаска ПР-7 с объемом подмасочного пространства не более 250 см<sup>3</sup>. Полумаска обеспечивает возможность непрерывной работы в течение шести часов, изготовлена из резины, допущенной органами здравоохранения РФ для использования в средствах защиты органов дыхания, и имеет коэффициент морозостойкости, равный отношению удлинения замороженного образца при растяжении при минус 40 °С к удлинению при температуре плюс (22 ± 2) °С, не менее 0,65.

### 6.1.3. Шлем-маска

Лицевая часть в виде шлем-маски для комплектования изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде в настоящее время находит ограниченное применение. Лицевая часть ШИП-26(к), которая представляет собой изготовленную формовым способом шлем-маску объемного типа с приклеенным к ней формовым обтюратором плоской конструкции, в качестве примера показана на рис. 21. Очковый узел имеет круглые силикатные стекла и прижимные кольца для закрепления незапотевающих пленок. Имеется патрубок для соединения шлема с гофрированной трубкой. Лицевая часть ШИП-26(к) изготавливается в трех ростах.

Измерение вертикального обхвата головы производят по замкнутой линии, проходящей через макушку, подбородок и щеки (рис. 22).

Шлем-маски обеспечивают хорошую герметичность и имеют коэффициент подсоса по масляному туману по полосе обтюрации не более  $10^{-4}$  %, но при этом имеют ряд существенных недостатков. Это отсутствие переговорных устройств, что ведет к низкой разборчивости речи, отсутствие 100 % слышимости, сильное механическое воздействие на мягкие ткани головы с появлением наминов 2–3 степени (расстройство кровообращения), малое поле зрения в связи с использованием очкового узла с круглыми стеклами.

Поле зрения называется видимое человеком пространство, когда он смотрит вперед, не двигая головой и глазами. Величина поля зрения характеризуется величиной поверхности, видимой человеком на полусфере, описанной вокруг вершины телесного угла, вершина которого лежит на сетчатке глаза. Поверхность, видимая одним глазом, называется *монокулярным полем зрения*, поверхность, видимая двумя глазами, называется *общим полем зрения*, поверхность, которая видится обоими глазами одновременно, называется *бинокулярным или стереоскопическим полем зрения*. Поле зрения является очень важным показателем, так как позволяет определять глубину и расстояние между предметами на местности. В настоящее время, в основном, задаются не поля зрения, а *углы обзора*, т.е. изменение углов видимости в изолирующем дыхательном аппарате и без него наружу, внутрь, вверх и вниз.



**Рис. 21. Шлем-маска ШИП-26(к):**  
1 – корпус; 2 – очковый узел



**Рис. 22. Измерение вертикального обхвата головы:**  
первый рост – до 640 мм; второй рост – от 645 до 685 мм; третий рост – 690 мм и выше  
**6.1.4. Маски**

Развитие конструкций лицевых частей шло по пути от клеевых шлем-масок к формованным и от последних к маскам. Лицевые части в виде масок исключают многие недостатки, присущие шлем-маскам, и имеют эксплуатационные и эргономические показатели, превосходящие показатели, достигнутые в конструкции шлем-масок.

Конструкции масок зависят от их назначения. Маски бывают нескольких типов: для изолирующих дыхательных аппаратов, предназначенных для проведения аварийных работ, как, например, маска МИА-1, применяемая в изолирующем противогазе ИП-4М, и для аппаратов экстренной защиты.

Маска МИА-1 (рис. 23) состоит из формованного корпуса с независимым obturatorом и подмасочника, очкового узла, переговорного устройства и регулируемого наголовника. В зависимости от применения она может комплектоваться гофрированными трубками разной длины с трикотажным покрытием и без него.

Подмасочник позволяет существенно снизить объем вредного пространства маски, влияющего на объемную долю диоксида углерода во вдыхаемой ГДС.



**Рис. 23. Маска МИА-1:**

1 – переговорное устройство; 2 – очковый узел; 3 – корпус; 4 – наголовник

Очковый узел состоит из двух трапециевидных изогнутых стекол, размещенных в резиновых пазах корпуса маски и закрепленных в них с помощью металлических очковых обойм. Данный очковый узел обеспечивает лучшие по сравнению с очковым узлом, снабженным круглыми стеклами, углы обзора, особенно наружу и вниз.

Для предохранения стекол очкового узла от запотевания и замерзания применяются незапотевающие пленки, о которых было сказано выше. Они вставляются в пазы очкового узла с внутренней стороны и фиксируются с помощью резиновых шнуров. При отрицательных температурах на стекла очкового узла дополнительно надеваются утеплительные манжеты, представляющие собой съемные вторые стекла с воздушным зазором между стеклами в 2...3 мм.

Для обеспечения разборчивости речи при подаче команд и работе со средствами связи в изолирующем дыхательном аппарате имеется переговорное устройство маски МИА-1 мембранного типа, при этом словесная разборчивость речи составляет 80 %, что тоже существенно лучше, чем в шлем-маске ШИП-26(к), где она составляет около 65 %.

Переговорное устройство маски МИА-1 состоит из пластмассового корпуса и крышки, внутри которых на решетчатой перегородке находится пленочная мембрана, герметичность и прижим которой обеспечивается прокладкой. Данная конструкция, хотя и обеспечивает достаточно хорошую разборчивость речи, имеет ряд недостатков, одним из которых является дребезжание мембраны, связанное с текучестью материала мембраны.

В настоящее время разработаны маски изолирующих дыхательных аппаратов с переговорными устройствами капсульного типа, позволяющие улучшить словесную разборчивость речи до 95 % и исключать дребезжание мембраны. Конструкция этого переговорного устройства представляет собой две штампованные детали из алюминиевого сплава, между которыми лежит мембрана из пленочного материала. Наиболее предпочтительными материалами для мембран переговорных устройств являются пленочные материалы малой толщины, обладающие небольшим удельным весом, высоким модулем упругости, незначительной влагопоглощаемостью и высокими температурами теплостойкости и плавления. К таким материалам относятся полиэтилентерефталатные, фторопластовые, полиимидные, фторопласто-полиимидные пленки. Также на разборчивость речи оказывает влияние диаметр мембраны и расположение переговорного устройства в корпусе маски.

Словесная разборчивость речи определяется, в общем случае, по методике, изложенной в ГОСТ 16600–72, и характеризуется пятью классами качества речи, приведенными в табл. 11.

**11. Зависимость класса речи от словесной разборчивости**

Класс качества речи	Словесная разборчивость, %
1	Свыше 95
2	Свыше 92 до 95
3	Свыше 87 до 92
4	Свыше 62 до 87
5	До 62

Наголовник маски предназначен для закрепления лицевой части на голове человека. К корпусу маски наголовник присоединяется при помощи пряжек, в которые продеваются лямки наголовника. Он состоит из пяти лямок: лобной, двух височных и двух щечных. На лямке с интервалом в один сантиметр отформованы упоры, служащие для надежного закрепления лямки в пряжке при фиксации лямки. У каждого упора стоят цифры, указывающие порядковый номер упора, что позволяет запомнить (записать) положение лямок при подгонке лицевой части.

Герметизация лицевой части обеспечивается обтюратором.

Маски для аппаратов длительного пользования изготавливаются, как правило, в трехростовочном ассортименте. Подбор масок ведется по сумме горизонтального  $O_1$  и вертикального  $O_2$  обхватов головы.

Горизонтальный обхват головы  $O_1$  определяют путем измерения размера головы по замкнутой линии, проходящей спереди по надбровным дугам, сбоку на 2...3 см выше края ушной раковины и сзади через наиболее выступающую точку голо-



вы (рис. 24).

Как определить вертикальный обхват головы  $O_2$ , описано выше при подборе роста шлем-маски (рис. 22).

По сумме вертикального и горизонтального обхватов головы ( $O_1 + O_2$ ) определяют типоразмер маски МИА-1 (рост и положения лямок наголовника) в соответствии с табл. 12.

Конструкции современных масок изолирующих дыхательных аппаратов длительного пользования обеспечивают длительность пребывания в ИДА до 48 ч и выше без наминов третьей степени, словесную разборчивость речи, соответствующую второму классу качества по ГОСТ 16600–72, высокую герметичность по полосе обтюрации, т.е. надежную защиту органов дыхания.

Следует отметить, что существуют маски со стеклом панорамного типа (рис. 25), имеющие поле зрения свыше 80 % и коэффициент подсоса на уровне  $10^{-2}$  %. Но при использовании таких масок в ИДА с химически связанным кислородом существуют определенные проблемы в части обеспечения незапотеваемости при отрицательных температурах.



Рис. 24. Определение горизонтального обхвата головы

## 12. Определение типоразмера маски МИА-1

Характеристика маски	Необходимый типоразмер маски при суммевертикального и горизонтального обхватов головы, мм						
	до 1185 включ.	1190...1210	1215...1235	1240...1260	1265...1285	1290...1310	от 1315 и
Рост	1		2			3	
Положение лямок наголовника	2-4-5	1-3-4	2-4-5	1-3-4	1-2-3	1-3-4	1-2-3
а) лобной	2	1	2	1	1	1	1
б) височных	4	3	4	3	2	3	2
в) щечных	5	4	5	4	3	4	3

Маски используются, в основном, в дыхательных аппаратах для проведения аварийных работ.

Примером маски, используемой в самоспасателях, является маска МПДА (рис. 26), которая выполнена в одном росте, обеспечивает ведение переговоров, имеет объемный корпус, обтюратор «независимого» типа и очковый узел с круглыми стеклами, имеющий изнутри специальные пазы для крепления незапотевающих пленок.

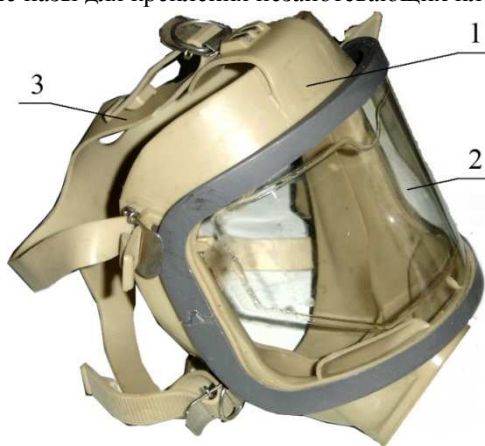


Рис. 25. Панорамная маска:  
1 – корпус; 2 – смотровое окно; 3 – оголовье



**Рис. 26. Маска МПДА:**  
1 – корпус; 2 – очковый узел; 3 – наголовник

Конструктивными особенностями данной маски являются:

- специальный валик, расположенный в передней масочной части корпуса, проходящий с обеих сторон крыльев носа и соединяющийся в области переносицы. Он необходим для увеличения каркасности маски и исключения ее пульсаций, приводящих к перекрытию патрубка во время эксплуатации;
- утонение корпуса (калибр резины 1,8 мм) в области органов дыхания, обеспечивающее ведение переговоров без переговорного устройства;
- пятиточечный наголовник регулируемо-фиксируемого типа, который обеспечивает вместе с обтюратором необходимую степень герметичности.

Коэффициент подсоса по полосе обтюрации в маске МПДА составляет  $10^{-3}$  %. Маска используется без предварительной подгонки и охватывает лица с суммой размеров ( $O_1 + O_2$ ) 1150...1300 мм и морфологической высотой лица  $B_3$  100...138 мм. Словесная разборчивость речи в маске МПДА составляет около 70...74 %.

В основном маски изготавливаются из резиновых смесей на основе синтетического изопренового каучука СКИ-ЗНТП – аналога натурального каучука или натурального каучука.

#### 6.1.5. Защитный колпак

В последнее время получили большое распространение лицевые части в виде защитных колпаков или капюшонов.

Защитный колпак самоспасателя СПИ-20, который закрывает голову человека полностью, а его пелерина, частично и грудь, показан на рис. 27. Внутри колпака 1 имеется полумаска 4, закрывающая нос, рот и подбородок. Полумаска соединена с помощью заклепок с передней частью колпака и вместе с шейным обтюратором при помощи ременного утяжника 3, расположенного сверху колпака, обеспечивает изоляцию органов дыхания. Колпак изготовлен из прорезиненной ткани оранжевого цвета, смотровое окно панорамного типа 4 – из полиимидной пленки. Для предохранения смотрового окна от запотевания применяется незапотевающая пленка, расположенная с внутренней стороны смотрового окна. На колпаке имеется световозвращающая полоса 5, которая служит для более быстрого обнаружения человека в аварийной ситуации.

Детали колпака сшиваются, и далее швы проклеиваются проклеечной лентой из прорезиненной ткани для обеспечения герметичности. Коэффициент подсоса по масляному туману по полосе обтюрации, т.е. по полумаске не более  $10^{-2}$  %. Дополнительная обтюрация по шее повышает защитные характеристики самоспасателя СПИ-20: фактические значения коэффициента подсоса по масляному туману достигают величины  $10^{-3}$ ... $10^{-4}$  %.



**Рис. 27. Защитный колпак самоспасателя СПИ-20:**  
 1 – колпак; 2 – смотровое окно; 3 – утяжник; 4 – полумаска;  
 5 – световозвращающая полоса

Колпак позволяет использовать самоспасатель людям с высокими прическами, в очках. Поле зрения составляет более 70 %.

У данной лицевой части практически отсутствует механическое воздействие на мягкие ткани головы, что позволяет ее использовать людьми от 16 лет и далее без ограничения возраста.

Основные технические требования к материалам колпака, в общем случае, следующие:

- по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям материалы должны быть допущены к применению в СИЗОД органами здравоохранения;
- материалы должны быть эластичными, стойкими к многократным перегибам на  $180^\circ$  (до 20 раз), воздухо-, газо- и влагонепроницаемыми;

- масса  $1 \text{ м}^2$  материала колпака должна быть не более 450 г;

- прочностные характеристики материала колпака должны быть при растяжении полоски материала шириной 50 мм не менее:

- а) сопротивление разрыву 40 кгс по основе и 35 кгс по утку;

- б) сопротивление раздиру 1,0 кгс по основе и утку;

- материалы должны выдерживать кратковременное воздействие температуры плюс  $200^\circ\text{C}$  в течение 60 с;

- материалы должны сохранять свои физико-механические и защитные свойства после воздействия открытого пламени в течение 2...3 с ( $t = \text{плюс } 800 \pm 50^\circ\text{C}$ ) и быть самозатухающими, т.е. после устранения источника огня не должны гореть и тлеть;

- материалы должны обеспечивать компактное складывание колпака в ограниченном объеме и обеспечивать его работоспособность в составе самоспасателя после пяти лет хранения.

При выборе материала, идущего на изготовление составной части ИДА, следует учитывать не только технологические особенности изготовления прорезиненной ткани, но и требования по стойкости к той или иной агрессивной среде, от которой должен защищать ИДА.

Защитные колпаки, наряду с прорезиненными тканями, также могут изготавливаться из пленочных материалов методом сварки.

## 6.2. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПАТРОН

Регенеративный патрон является одним из основных составных элементов ИДА и предназначен для поглощения диоксида углерода и паров воды из ГДС и обогащения ее кислородом. Конструкция регенеративного патрона является основным фактором, определяющим:

- работоспособность дыхательного аппарата в заданном интервале температур;
- время защитного действия аппарата;
- сопротивление дыханию;
- объемную долю диоксида углерода во вдыхаемой ГДС.

Регенеративные патроны, как правило, сконструированы по одной из схем, обеспечивающих при работе прямоточное или радиальное направление движения ГДС. Последняя конструкция называется также схемой с развернутой шихтой. В прямоточной схеме ГДС движется вдоль оси регенеративного патрона, в схеме с развернутой шихтой – радиально.

Выбор схемы и конструкции регенеративного патрона осуществляется, исходя из требований, предъявляемых к ИДА,

с учетом оптимальных сечений и высоты слоя регенеративного продукта, а также его фракционного состава.

Регенеративные патроны имеют пусковое устройство, необходимое для инициирования процесса выработки кислорода пусковым брикетом, поскольку в начальный момент времени пользователю необходим кислород, пока регенеративный продукт не начнет вырабатывать достаточное его количество.

Пусковое устройство состоит из механизма запуска и ампулы с инициирующей жидкостью. Ампула, в зависимости от конструкции пускового устройства, может приводиться в действие механизмом (рычажным, винтовым или полуавтоматическим), а также нажатием пальца. В качестве инициирующей жидкости используются раствор серной кислоты или раствор хлористого натрия.

Пусковой брикет состоит из многокомпонентной механической смеси, состоящей из бисульфата натрия, надпероксидов натрия и калия и других добавок в определенном соотношении. Как правило, брикет заключен в металлическую обойму для обеспечения целостности брикета при механических воздействиях на патрон.

При попадании инициирующей жидкости на пусковой брикет начинается химическая реакция, в результате которой выделяется заданное количество кислорода, при этом пусковой брикет нагревается до температуры 400...500 °С.

### 6.2.1. Описание конструкции и схемы работы прямоточного регенеративного патрона

Патроны прямоточные (рис. 28), как правило, состоят из следующих сборочных единиц и деталей:

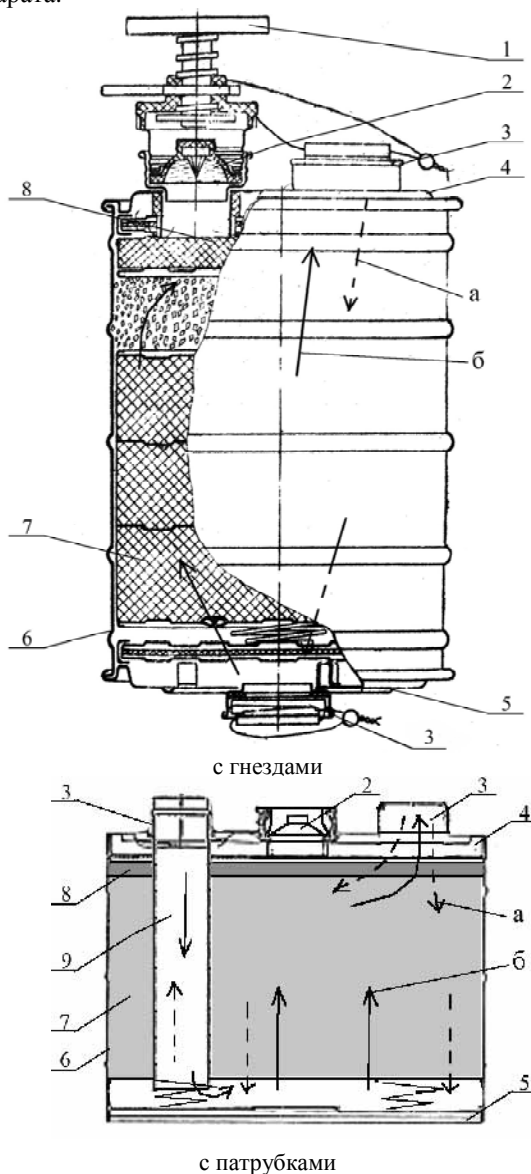
- обечайки;
- подвижного дна с системой амортизации;
- верхней и нижней крышек с гнездами (патрубками) для подключения к воздухопроводной системе (гофрированной трубке и дыхательному мешку);
- пускового устройства;
- ампулы пусковой.

Регенеративные патроны снабжаются одним или несколькими противопылевыми фильтрами, изготовленными из стекловолокна или стеклотумаги. Фильтры могут располагаться на верхней или нижней крышке с внутренней стороны.

В состав прямоточного регенеративного патрона могут входить тепло- и теплотокораспределители.

Обечайка является основой конструкции регенеративного патрона и служит для монтажа остальных деталей и сборочных единиц. Внутри обечайки засыпают регенеративный продукт.

Обечайки регенеративных патронов имеют различную форму (круглую, овальную, плоско-овальную и др.), выбранную с учетом назначения дыхательного аппарата.



**Рис. 28. Схема работы проточного регенеративного патрона:**

1 – пусковое устройство; 2 – ампула пусковая; 3 – гнездо (патрубок); 4 – верхняя крышка; 5 – нижняя крышка; 6 – обечайка; 7 – регенеративный продукт; 8 – пусковой брикет; 9 – воздуховод; а – выдыхаемая ГДС; б – вдыхаемая ГДС

Подвижное дно и система амортизации служат для поджима регенеративного продукта, что обеспечивает сохранение характеристик регенеративного продукта при механических воздействиях в процессе транспортировки и эксплуатации аппарата.

Крышки (верхняя и нижняя) с гнездами служат для герметизации регенеративного патрона и подключения к воздуховодной системе ИДА. Гнезда (патрубки) могут быть расположены либо на одной (верхней) крышке, либо на разных крышках в зависимости от конструкции дыхательного аппарата (рис. 29). Как правило, гнезда используются в регенеративных патронах ИДА многократного пользования, в одноразовых самоспасателях применяются патрубки.

Соответственно дыхательный мешок располагается сверху или снизу регенеративного патрона. В первом случае дыхательный мешок ограничивает обзор пользователя, во втором возрастает опасность его обжигания в положении «сидя». Изготовление регенеративного патрона по проточной схеме осуществляется, как правило, по следующей схеме:

- собирается и монтируется на верхней крышке противопылевой фильтр;
- к обечайке приваривается или крепится другим способом, обеспечивающим герметичность соединения, верхняя крышка;
- на верхней крышке монтируется пусковой брикет;



**Рис. 29. Расположение гнезд (патрубков) на регенеративных патронах:**

1 – с двумя патрубками на верхней крышке;

2 – с одним патрубком на верхней и нижней крышках;

3 – с одним гнездом на верхней и нижней крышках

- в обечайку помещается пусковой брикет и засыпается регенеративный продукт;
- на регенеративный продукт помещается подвижное дно с системой амортизации;
- нижняя крышка, поджимающая систему амортизации, крепится к внешнему корпусу сваркой или другим способом, обеспечивающим герметичность соединения.

В патроне, имеющем проточную конструкцию, ГДС поступает из-под верхней крышки во внутреннюю полость с регенеративным продуктом. Далее ГДС проходит сквозь слой регенеративного продукта через подвижное дно с системой амортизации к нижней крышке.

Преимуществом патрона, сконструированного по проточной схеме, по сравнению с патроном по схеме «развернутая шихта», является меньшая масса и габариты в связи с отсутствием внутреннего перфорированного корпуса и перфорированной трубки, увеличивающих соотношение между массами металла и регенеративного продукта в патроне.

Патрон с проточной конструкцией, как правило, отличается от патрона с развернутой шихтой меньшей площадью и большей длиной рабочего слоя регенеративного продукта, а также меньшей поверхностью внешней крышки по сравнению с внешним корпусом «развернутой шихты». Это требует применения в патроне проточной конструкции регенеративного продукта относительно крупного зёрнения. Возможно также использование таблетированного и блочного регенеративного продукта.

Проточная конструкция регенеративного патрона дает возможность вести послойную засыпку регенеративного продукта, а также добавку инертных носителей и поглотителя диоксида углерода с целью снижения нагрузки на регенеративный продукт. Поскольку теплота реакции диоксида углерода с поглотителем меньше таковой для реакции с надпероксидами, добавление поглотителя ведет к снижению общей теплоты реакции и уменьшению температуры вдыхаемой газовой смеси. Вторым назначением поглотителя является улучшение разрабатываемости продукта при отрицательных температурах.

Проточная схема позволяет использовать прием снаряжения регенеративного патрона продуктами с различными характеристиками. Этот прием производится с целью обеспечения требуемых показателей по работоспособности в заданном интервале температур, сопротивлению дыханию, содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе. Возможны варианты использования продуктов различного типа и различного фракционного состава.

Например, согласно патенту Японии № 131806/85, для обеспечения выделения кислорода в соответствии с его потребностью в начальный период работы аппарата и исключения выделения кислорода сверх необходимого в процессе дальнейшего использования в центральную часть патрона помещался регенеративный продукт с содержанием катализатора (гопкалита) 0,5...8,0 %, а по периферии размещался продукт с меньшим содержанием катализатора.

Согласно патенту Франции № 2521034, при помещении в регенеративный патрон таблетки из чистого надпероксида калия и его смеси с добавками в количестве 50...95 % степень отработки такого продукта увеличивается до 90 %, а время защитного действия увеличивается примерно в 2 раза.

### 6.2.2. Описание конструкции и схемы работы регенеративного патрона типа «развернутая шихта»

Патроны типа «развернутая шихта» (рис. 30), как правило, состоят из следующих деталей:

- внешнего корпуса (обечайка);
- внутреннего перфорированного корпуса, повторяющего форму внешнего;
- перфорированной трубки, цилиндрической или повторяющей форму корпуса (может совмещаться с ложным дном);
- подвижного дна с системой амортизации;
- верхней и нижней крышек с гнездами (патрубками) для подключения к воздуховодной системе.

Регенеративные патроны снабжаются одним или несколькими противопылевыми фильтрами, которые могут располагаться на верхней или нижней крышке, на наружной поверхности внутреннего перфорированного корпуса или внутренней поверхности перфорированной трубки.

Внешний корпус является основой конструкции регенеративного патрона и служит для монтажа остальных деталей и сборочных единиц.

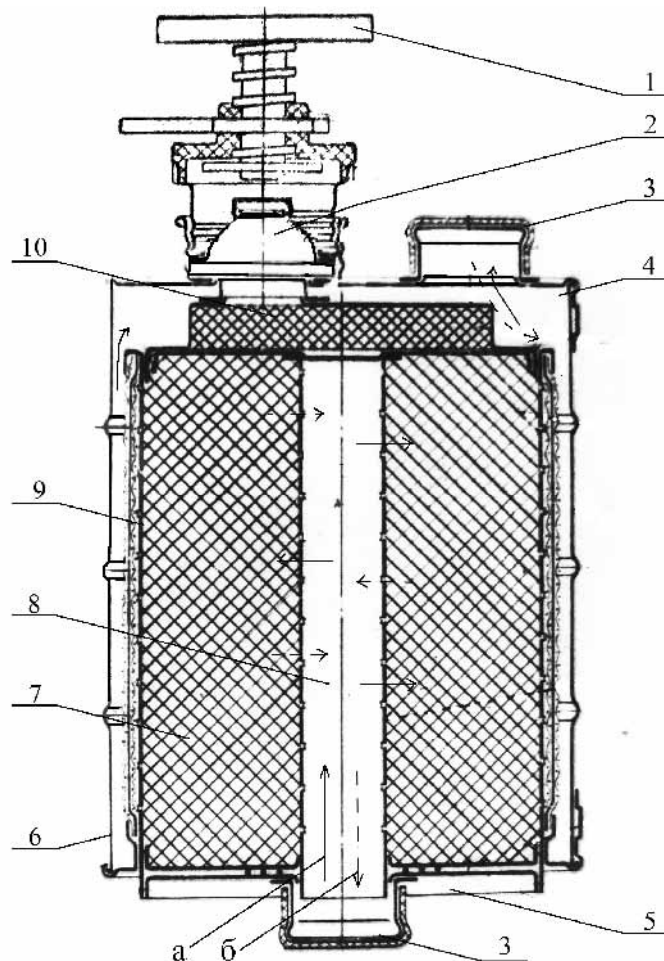
Пространство между внутренним перфорированным корпусом и перфорированной трубкой служит для размещения регенеративного продукта.

Подвижное дно и система амортизации служат для поджима регенеративного продукта.

Крышки (верхняя и нижняя) с гнездами служат для герметизации регенеративного патрона и подключения к воздуховодной системе ИДА.

Изготовление регенеративного патрона типа «развернутая шихта» происходит, как правило, по следующей схеме:

- на верхней крышке собирается и монтируется противопылевой фильтр;
- к внешнему корпусу приваривается или крепится другим способом, обеспечивающим герметичность соединения, верхняя крышка;



**Рис. 30. Схема работы регенеративного патрона типа «развернутая шихта»:**

1 – пусковое устройство; 2 – ампула пусковая; 3 – патрубок; 4 – верхняя крышка; 5 – нижняя крышка; 6 – обечайка; 7 – регенеративный продукт; 8 – перфорированная трубка; 9 – перфорированный корпус; 10 – пусковой брикет;  
а – вдыхаемая ГДС; б – выдыхаемая ГДС

- со стороны нижней крышки вставляется и фиксируется внутренний перфорированный корпус;
- во внутренний перфорированный корпус вставляется перфорированная трубка с ложным дном (как правило, пусковой брикет помещается под ложное дно в перфорированном корпусе);
- в полость между внутренним перфорированным корпусом и перфорированной трубкой засыпается регенеративный продукт;



- на регенеративный продукт между внутренним перфорированным корпусом и перфорированной трубкой помещается подвижное дно с системой амортизации;
- нижняя крышка, поджимающая систему амортизации продукта, крепится к внешнему корпусу сваркой или другим способом, обеспечивающим герметичность соединения.

В зависимости от конструкции, установка противопылевого фильтра может осуществляться в последний момент.

Возможны две схемы движения ГДС в патроне типа «развернутая шихта». В первой ГДС поступает из органов дыхания через соединительную трубку в патрубок верхней крышки в зазор между внешним корпусом и внутренним перфорированным корпусом. Далее ГДС проходит сквозь слой регенеративного продукта к внутренней перфорированной трубке, по ней поступает к нижней крышке и далее в дыхательный мешок.

При такой конструкции внешний корпус обеспечивает эффективный отвод тепла в окружающую среду. Недостатком данного решения является увеличенное вредное пространство патрона, что ведет к увеличению объемной доли диоксида углерода во вдыхаемой ГДС.

Во второй схеме ГДС поступает из лицевой части через соединительную трубку во внутреннюю перфорированную трубку. Далее ГДС проходит сквозь слой регенеративного продукта в зазор между внешним корпусом и внутренним перфорированным корпусом и поступает к нижней крышке и далее в дыхательный мешок.

Такая схема реализована в самоспасателе ШСС-Т, при такой конструкции вредное пространство является минимальным. Недостатком данного решения является поступление на вдох ГДС из самой горячей части регенеративного патрона, что ведет к увеличению температуры вдыхаемой ГДС.

Недостатком патрона, сконструированного по схеме «развернутая шихта», по сравнению с прямоточной конструкцией, является большая масса и габариты в связи с введением в конструкцию дополнительного внутреннего перфорированного корпуса, перфорированной трубки, увеличивающих соотношение между массами металла и регенеративного продукта в патроне.

Патрон с развернутой шихтой имеет сравнительно большую площадь и малую длину рабочего слоя регенеративного продукта, что требует применения в патроне регенеративного продукта мелкого зёрнения. В связи с коротким слоем регенеративного продукта и технологическими проблемами в таких патронах отсутствует возможность послойной засыпки продукта, затруднено использование теплораспределителей, использование блокового и таблетированного продукта. Все это ограничивает возможности оптимизации конструкции патрона с развернутой шихтой за счет регенеративного продукта.

### 6.3. ДЫХАТЕЛЬНЫЕ МЕШКИ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Дыхательные мешки (ДМ) являются одним из основных узлов ИДА и выполняют функцию резервуара для создания запаса ГДС, необходимой для нормального дыхания. Его рабочий объем (объем ГДС, заключенный в мешке) должен быть не менее 6 дм<sup>3</sup>.

Конструктивные особенности ДМ: форма, размеры и размещение присоединительных фланцев определяются общей компоновкой и условиями применения ИДА. Не существует единой базовой конструкции дыхательного мешка. Они бывают разной формы: цилиндрические, тороидальные, прямоугольные, квадратные.

К дыхательным мешкам предъявляются следующие основные требования:

- изготавливаться из эластичной, легкой и прочной газонепроницаемой ткани;
- быть герметичным при избыточном давлении 1960 Па (200 мм вод. ст.);
- компактно складываться в заданном разработчиком СИЗОД объеме;
- фланцы присоединения ДМ к регенеративному патрону должны быть термостойкими при температуре плюс 150...200 °С;
- масса ДМ должна быть минимальной (масса может меняться в зависимости от предъявляемых требований к СИЗОД);
- материалы по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям должны быть допущены к применению в СИЗОД органами здравоохранения.

Дыхательные мешки ИДА на химически связанном кислороде, в основном, изготавливаются из облегченных прорезиненных тканей типа 51-183-2 клеями холодного отверждения.

Для сбрасывания избыточного объема ГДС ДМ имеют клапан избыточного давления. Клапаны избыточного давления бывают двух типов действия: мембранного и натяжного.

Примером клапана избыточного давления мембранного типа является клапан, представленный на рис. 31, натяжного типа – представлен на рис. 32.



**Рис. 31. Дыхательный мешок с клапаном мембранного действия:**  
1 – дыхательный мешок; 2 – патрубок; 3 – клапан мембранного действия



**Рис. 32. Дыхательный мешок с клапаном натяжного действия:**  
1 – дыхательный мешок; 2 – клапан натяжного действия; 3 – нить

Сброс ГДС из ДМ с мембранным клапаном происходит при превышении давления в дыхательном мешке величины давления открытия клапана, сброс из ДМ с клапаном натяжного действия – по мере увеличения объема ДМ до определенной величины.

#### 6.4. ЭЛЕМЕНТЫ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Важное место в конструкции ИДА занимают комплектующие, сборочные единицы и детали из пластмассы и пленочных материалов. Можно утверждать, что одной из тенденций развития современных ИДА является постепенное увеличение доли пластмассы в конструкциях дыхательных аппаратов.

*Полимеры* – вещества, молекулы которых представляют собой цепь или пространственную решетку последовательно соединенных одинаковых групп атомов, повторяющихся большое количество раз. Молекулярная масса полимера очень велика – 1000...1 000 000. Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500. Вещества, имеющие промежуточные значения молекулярной массы, называют олигомерами.

Исходные вещества, из которых синтезируют полимеры, называются мономерами.

Кроме чистых полимеров, находят широкое применение сополимеры – высокомолекулярные вещества, получаемые совместной полимеризацией нескольких мономеров, при этом образуются вещества с видоизмененными свойствами (например, ударопрочный полистирол получают сополимеризацией стирола с мономерами синтетических каучуков)

*Пластические массы (пластмассы)* – композиционные материалы на основе полимеров, содержащие различные компоненты и придающие определенные свойства материалам:

- дисперсные, коротковолокнистые, листовые, воздушные наполнители – улучшают механические, термические, диэлектрические, теплоизоляционные свойства, снижают усадку;
- пластификаторы – увеличивают эластичность, текучесть, гибкость, уменьшают хрупкость;
- стабилизаторы – способствуют сохранению структуры и свойств во времени, предотвращая их старение от воздействия солнечного света, кислорода, нагрева и т.д.;
- смазывающие вещества – устраняют прилипание материала к литьевым формам;
- катализаторы – являются ускорителями процесса отверждения;
- красители – придают пластмассе нужный цвет.

Под воздействием тепла и давления на определенном этапе технологической обработки полимерные материалы становятся пластичными, что дает возможность придавать им требуемую форму.

Полимерные материалы характеризуются высокой химической стойкостью, имеют хорошее сопротивление ударным нагрузкам при различных температурах, обладают хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами. Переработка полимерных материалов менее трудоемка и энергоемка. К недостаткам полимерных материалов следует отнести возможность



их деструкции и изменения прочностных характеристик в процессе хранения, однако при правильном выборе пластмассы по заданным требованиям недостатков можно избежать.

Современные ИДА включают в себя следующие составные части, которые могут изготавливаться из полимерных и резинотехнических материалов: лицевую часть (колпак, полумаска, маска, загубник с очками), воздуховод, дыхательный мешок, теплозащитный элемент, футляр.

Существуют как общие требования ко всем изготовленным из пластмассы составным частям ИДА, так и специфические, в зависимости от их назначения.

Технические требования к материалам ИДА предъявляются, исходя, прежде всего, из условий эксплуатации самоспасателя и определения факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на свойства материалов. Существенным при этом является конкретное назначение материала, а также учет требуемого срока хранения и эксплуатации, в течение которого могут происходить изменения свойств материалов, превышающих допустимые пределы.

Общими требованиями к материалам изготовленных из пластмасс составных частей ИДА являются:

- а) наличие гигиенического сертификата;
- б) отсутствие выделения вредных веществ при хранении в установленных условиях;
- в) стойкость к воздействию открытого пламени, к токсичным продуктам в заданных концентрациях, самозатухаемость;
- г) газо- и влагонепроницаемость;
- д) ударпрочность, морозостойкость;

За рубежом разработкой и изготовлением современных защитных материалов для ИДА занимаются специализированные фирмы.

В известных зарубежных самоспасателях Life-Saver 60, SSR 30/100, SSR 30BS, ANZ-40, Biocell 1 для защиты органов дыхания и зрения используются загубники с герметичными очками. Корпус очков и загубник изготовлен из полимера на основе силикона, а очковые линзы – из поликарбоната. Поликарбонат имеет показатель преломления 1,59 и относится к высокопреломляющим органическим оптическим материалам коэффициентом светопропускания до 100 %.

Для колпаков и дыхательных мешков используются ткани с полиуретановым покрытием на основе олефиновых волокон, поливинилхлоридные (ПВХ) пленки на нейлоновой основе, ткани из вискозы с полиуретановой пропиткой, которые обеспечивают высокие защитные свойства, а также прозрачные пленки из поликарбонатов, фторопластов и полиэфиров.

В самоспасателе Scram используется защитный колпак, изготовленный сваркой из фторлакоткани со смотровым окном из фторопластовой пленки.

Колпак респиратора CBRN 15 изготовлен способом сварки из матовой полихлорвиниловой пленки с прозрачным смотровым окном из полиэфира.

Для изготовления футляров используются композиционные материалы на основе полиамидов и ударопрочных сополимеров.

В серийно выпускаемых самоспасателях, разработанных ОАО «Корпорация «Росхимзащита», полимерные материалы используются, в целом, в меньшем количестве (табл. 13) по сравнению с зарубежными.

Корпус и крышка футляров, теплозащитный кожух, соединительные элементы (штуцер, гайка, патрубков), а также детали клапана избыточного давления – корпус и шток изготавливаются методом литья под давлением. Пакет для упаковки из трехслойного пленочного материала «терафол» изготавливается с помощью тепловой сварки.

В новых разработках прорезиненные материалы для колпака и дыхательного мешка предполагается заменить на композиционные полимерные материалы на нейлоновой основе с двухсторонним полиуретановым или ПВХ-покрытием ярких цветов.

Резиновый корпус очков будет изготавливаться из поливинилхлорида, а силикатные стекла заменены на полимерные из ударопрочного полистирола или из поликарбоната.

### 13. Материалы, применяемые в серийно выпускаемых ИДА

Наименование составных частей	Материал
Смотровое окно	Пленка полиимидная
Пленка незапотевающая	Пленка лавсановая
Штуцер, гайка	Полиэтилен
Клапан избыточного давления	Полипропилен марки «Армлен»
Футляр	Полипропилен, полиэтилен
Пакет	Терафол (лавсан-фольга-полиэтилен)

### 6.5. ТЕПЛООБМЕННИКИ И ХОЛОДИЛЬНИКИ. СПОСОБЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Одной из важных составных частей современных ИДА являются устройства для снижения температуры вдыхаемого воздуха – теплообменники и холодильники. Проблема снижения температуры вдыхаемой ГДС является комплексной и связана с тепловым балансом системы «ИДА + человек».

При использовании ИДА в его воздуховодную систему вносится тепловой поток  $Q_{\text{вх}}$  вместе с выдыхаемой ГДС, а выводится тепловой поток  $Q_{\text{вд}}$  вместе с вдыхаемой ГДС и ГДС, выходящей через клапан избыточного давления. Другая составляющая процессов теплообмена состоит в том, что в регенеративном патроне продуцируется тепловой поток  $Q_{\text{рег}}$  в результате экзотермической реакции хемосорбции диоксида углерода, кроме того происходит теплообмен между ГДС, циркулирующей в воздуховодной системе, и окружающей средой, в результате которой из системы выносятся тепловой поток  $Q_{\text{то}}$ .

Снижение температуры вдыхаемой ГДС – это одна из ключевых задач, стоящих перед разработчиками ИДА. Если при отрицательных температурах условия дыхания в ИДА с химически связанным кислородом благоприятно сказываются на пользователе, то при положительных температурах эксплуатации нагрев дыхательной смеси является одним из основных

причин дискомфорта.

Особенность ИДА с химически связанным кислородом – значительное нагревание и осушение регенерированного воздуха, в результате чего, если не принять специальных мер для его кондиционирования, то на вдох поступит горячий и сухой воздух. Выходящий из регенеративного патрона воздух имеет большой температурный перепад с окружающей средой и вследствие малого содержания водяных паров обладает низкой удельной энтальпией. Он быстро охлаждается за счет отдачи тепла в окружающую среду, поэтому в ИДА с химически связанным кислородом обдув окружающим воздухом регенеративного патрона и элементов воздухопроводной системы, по которым поступает горячий воздух, и применение воздушных холодильников дают хороший кондиционирующий эффект.

Оптимизация влажности вдыхаемого воздуха достигается путем частичного тепловлагообмена между регенерированным в аппарате сухим воздухом и выдыхаемым, насыщенным водяными парами. Этот процесс осуществляется во вредном пространстве воздухопроводной системы, в которое входят лицевая часть и объем в месте соединения дыхательных шлангов, загубника и тепловлагообменника. Сущность тепловлагообмена при маятниковой схеме движения воздуха заключается в смешении части выдыхаемого воздуха с воздухом, поступающим из аппарата на вдох. В результате смешения снижается температура вдыхаемого воздуха и повышается его влагосодержание. С другой стороны, одновременно снижается влагосодержание воздуха, поступающего в регенеративный патрон, что благоприятно сказывается на его действии.

Для снижения температуры вдыхаемой ГДС можно выделить следующие возможные пути:

- использование в схеме холодильника (тепло- или влагообменника);
- снижение количества тепла, выделяемого регенеративным продуктом;
- рассеивание тепла в окружающую атмосферу элементами аппарата.

Температура дыхательной газовой смеси, выходящей из регенеративного патрона в соединительную трубку, достигает плюс 120...140 °С. При маятниковой схеме дыхания гофртрубка сама служит теплообменником, отнимающим из проходящего воздуха большое количество тепла. Причем, основное количество тепла отнимается частью гофртрубки, расположенной рядом с патроном, поэтому чрезмерное ее удлинение мало сказывается на уменьшении температуры вдыхаемого воздуха.

Известны работы по снижению температуры на вдохе путем применения холодильников, работающих на принципе поглощения тепла низкоплавкими композициями солей [2]. Однако эффективность таких холодильников невелика, и они обладают значительными размерами и массой. Практически для аппаратов длительного применения используются холодильники, содержащие брикеты льда или алюмогель, увлажняемый за 0,5 часа до выполнения работ.

Для улучшения тепловлажностных характеристик воздуха, поступающего на дыхание, могут быть использованы тепло- и влагообменники, содержащие насадку из материалов, обладающих соответственно низкой теплопроводностью или высокой гигроскопичностью.

Например, известен аппарат с маятниковой схемой дыхания с теплообменником в виде коробки с металлической проволокой или пакета из металлических сеток располагается между загубником и патроном. Аппарат может иметь различные варианты конструктивного исполнения в зависимости от места расположения теплообменника:

- у верхнего края дыхательного шланга,
- в верхней части патрона,
- в середине шланга,
- в каждой гофре дыхательного шланга в виде сетки.

При использовании теплообменников, установленных на выходе из патрона (из листовой меди или алюминия), температура на вдохе снижается на 3...5 °С.

Для снижения температуры вдыхаемой газовой смеси в ряде аппаратов применяется теплообменник в виде спирали из листового алюминия, расположенный в месте соединения гофртрубки с лицевой частью. Аккумулирование тепла при вдохе и отдача его при выдохе обратно в патрон с последующим выносом в окружающую среду требует использования металла с большой теплопроводностью и теплоемкостью. Применение такого теплообменника позволяет снизить температуру вдыхаемой газовой смеси на 5...10 °С.

Конструкция аппаратов, в которых для охлаждения воздуха, поступающего на дыхание, используется гигроскопичный материал, в основном, построена по следующему принципу. В ИДА на участке вдоха-выдоха в дыхательном шланге перед регенеративным патроном помещают влагообменник с насадкой из гигроскопичного материала, например, из полиамида или вискозного волокна. Такая конструкция позволяет подсушивать выдыхаемый воздух, поступающий в патрон, что улучшает полноту отработки, а при вдохе горячий воздух из патрона, проходя через влагообменник, десорбирует с него часть влаги, увлажняется сам и тем самым снижает свою температуру.

Известен аппарат, в котором установлен часовой механизм, запускаемый при начале эксплуатации с тем, чтобы по истечении половины нормативного времени защитного действия воздух начал проходить через тепловлагообменник на основе силикагеля. При этом оптимизируется работа регенеративного патрона в целом, а также улучшаются тепловлажностные характеристики воздуха, поступающего на дыхание.

Необходимо отметить, что теплообменник и тепловлагообменник, как правило, вносят вклад в увеличение сопротивления дыханию.

Снижение температуры вдыхаемого воздуха за счет снижения количества тепла, выделяемого регенеративным продуктом, может достигаться путем разбавления продуктов поглотителем или инертным составляющим. Известны попытки снижения температуры выходящего из патрона воздуха путем введения в патрон дополнительного слоя осушителя или поглотителя диоксида углерода. В ряде исследований установлено, что введение в лобовой слой регенеративного продукта осушителя приводит к снижению температуры регенерированного воздуха, однако это связано с усложнением конструкции патрона, ухудшением технологии его изготовления и увеличением массы и габаритов.

Теплообмен в дыхательных аппаратах может осуществляться также за счет конструктивного исполнения самого аппарата, в основном, дыхательного мешка. Считается, что при этом охлаждение вдыхаемого воздуха достигается более простым способом. Известны конструкции дыхательных мешков в виде кольца или шланга, разделение дыхательного мешка на два отсека – вдоха и выдоха, которые обеспечивают высокий теплосъем и тем самым охлаждение вдыхаемого воздуха. В аппарате SSR120, например, в дыхательном мешке помещен распределитель воздуха, который отводит выдыхаемую ГДС к боковым сторонам дыхательного мешка для более эффективного охлаждения.

## 7. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОЛИРУЮЩИМ ДЫХАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

### 7.1. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ, ПОКАЗАТЕЛЯМ НАЗНАЧЕНИЯ И ЭРГОНОМИКИ

К средствам индивидуальной защиты органов дыхания предъявляется комплекс требований, обеспечивающих возможность их использования по назначению.

Требования к СИЗОД можно разбить на следующие основные группы:

- *показатели защитной эффективности (назначения);*
- *показатели надежности;*
- *показатели стойкости к внешним воздействиям;*
- *эргономические показатели;*
- *показатели стандартизации и унификации;*
- *требования к конструкции.*

Указанные требования регламентированы в соответствующих стандартах или иных нормативных документах. Необходимо подчеркнуть, что соблюдение требований действующих стандартов должно предусматриваться уже на стадии разработки и постановки на производство новых дыхательных аппаратов.

Общие технические требования к самоспасателям установлены в [6]. Данные требования не распространяются на такие специальные виды самоспасателей, как медицинские, для подводных работ, для авиации и космоса, для военных целей и для спасения во время пожара. Стандарт устанавливает требования по назначению, конструктивные требования, требования по стойкости к внешним воздействиям, требования безопасности, а также методы их проверки.

Согласно ГОСТ 12.4.220–2001, температура окружающей среды, при которой самоспасатели должны обеспечивать защиту, составляет величину от минус 20 до плюс 40 °С.

Для каждой марки самоспасателя в НТД на него устанавливается *номинальное время защитного действия*, это ВЗД при испытании на основном (номинальном) режиме на установке «Искусственные легкие» (легочная вентиляция 35 дм³/мин и температура окружающей среды (20 ± 5) °С).

Установлено [6], что ВЗД самоспасателей при температурах окружающей среды минус 20 и плюс 40 °С и легочной вентиляции 35 дм³/мин должно быть не менее номинального, а ВЗД самоспасателей при температуре окружающей среды (20 ± 5) °С и легочной вентиляции 70 дм³/мин должно составлять не менее 30 % номинального. ВЗД самоспасателя при выполнении испытателем дозированной физической нагрузки при температурах окружающей среды минус 20 и плюс 20 °С должно быть не менее номинального, ВЗД в состоянии покоя при температуре плюс 20 °С должно составлять не менее 300 % номинального.

Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС не должна превышать 3 %, объемная доля кислорода во вдыхаемой из самоспасателя ГДС или в дыхательном мешке не должна быть меньше 21 %.

Температура вдыхаемой из самоспасателя ГДС не должна превышать 60 °С для самоспасателей с номинальным ВЗД до 15 мин включительно и 55 °С – для самоспасателей с номинальным ВЗД более 15 мин. Сопротивление дыханию на вдохе или выдохе при легочной вентиляции 35 дм³/мин не должно превышать 980 Па (100 мм вод. ст.), при легочной вентиляции 70 дм³/мин – 1960 Па (200 мм вод. ст.).

Продолжительность включения в самоспасатель должна быть не более 15 с.

Применяемые для изготовления самоспасателя материалы, непосредственно соприкасающиеся с кожей пользователя и ГДС, не должны оказывать раздражающего или иного вредного воздействия на человека. Эти материалы и компоненты ГДС должны иметь разрешение к применению органов Госсанэпиднадзора Минздрава России.

Самоспасатели должны быть устойчивы к воздействию климатических факторов при хранении, транспортировании, соответствующих условиям хранения 2(С) по ГОСТ 15150–69.

Самоспасатели должны быть устойчивы к механическим воздействиям: выдерживать испытания на транспортирование, соответствующие средним условиям транспортирования, – перевозки автомобильным транспортом по дорогам с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием на расстояние до 1000 км.

Самоспасатели, предназначенные для подземных работ, должны быть стойкими к нагрузкам, возникающим при падении их с высоты 1,5 м на бетонный пол.

Масса самоспасателей с номинальным ВЗД до 30 мин включительно не должна превышать 2,2 кг, с ВЗД 30...60 – 3,3 кг, с ВЗД 60...90 – 4,5 кг.

К самоспасателям предъявляются конструктивные требования:

- конструкция замка футляра самоспасателей должна обеспечивать удобство и быстроту вскрытия и исключить возможность случайного вскрытия при ношении;
- должны отсутствовать выступающие детали;
- поверхность любой части самоспасателей, контактирующая с пользователем, не должна иметь острых краев или заусенцев.

В случае использования самоспасателей во взрывоопасной среде составные части самоспасателей, которые могут быть подвержены ударам при эксплуатации, должны быть изготовлены из материалов, обеспечивающих фрикционную искробезопасность, а сами самоспасатели должны быть антистатичными – сопротивление изоляции неметаллических частей самоспасателей должно быть не более 10<sup>9</sup> Ом.

Для обеспечения нужного коэффициента подсоса по масляному туману воздухопроводная система самоспасателей должна быть герметична при внутреннем избыточном давлении и разрежении 980 Па (100 мм вод. ст.): допускается падение давления не более чем на 156 Па (16 мм вод. ст.) в течение 1 мин.

Общие технические требования к изолирующим самоспасателям для защиты органов дыхания и зрения людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из помещений во время пожара регламентируются НПБ 169–2001 [7], согласно которому, в зависимости от назначения самоспасатели подразделяются на *самоспасатели общего назначения*, предназначенные для применения людьми, которые самостоятельно эвакуируются из зданий и помещений во время пожара, и *самоспасатели специального назначения*, предназначенные для применения персоналом, ответственным за организацию эвакуации людей из зданий и помещений во время пожара.

Условное время защитного действия (ВЗД при легочной вентиляции  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$  и температуре окружающей среды  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ) самоспасателя общего назначения должно быть не менее 15 мин, а самоспасателя специального назначения – не менее 25 мин.

Для обеспечения нужной изоляции человека в условиях пожаров коэффициент подсоса по масляному туману  $K_p$  в подмасочное пространство капюшона (лицевой части) с учетом подсоса через полосу обтюрации должен быть не более 0,05 %.

Сопротивление дыханию на вдохе и выдохе при легочной вентиляции  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$  не должно превышать 700 Па, при легочной вентиляции  $60 \text{ дм}^3/\text{мин}$  – 1500 Па.

Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС не должна превышать 3,0 % об, объемная доля кислорода – должна быть не менее 20 %.

Температура вдыхаемой из самоспасателя ГДС не должна превышать  $45^\circ\text{C}$ , а температура поверхности самоспасателя, обращенной к телу пользователя, должна быть переносимой для пользователя, одетого в хлопчатобумажную рабочую одежду.

С учетом того, что самоспасатель предназначен для использования необученными людьми, время надевания и приведения самоспасателя в действие устанавливается сравнительно большим и должно быть не более 60 с.

Масса рабочей части самоспасателя общего назначения должна быть не более 2,0 кг, специального назначения – не более 2,5 кг.

Фактическое ВЗД в интервале температур от 0 до плюс  $60^\circ\text{C}$  при легочной вентиляции  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$  должно быть не менее условного, при легочной вентиляции  $60 \text{ дм}^3/\text{мин}$  – не менее 50 % от условного.

Самоспасатели должны быть устойчивы к механическим воздействиям: сохранять работоспособность после воздействия на него вибронагрузки с перегрузкой  $3g$  (где  $g$  – ускорение свободного падения) при частоте от 2 до 3 Гц в течение 60 мин, после падения в футляре (сумке) с высоты 1,5 м на ровную бетонную поверхность.

Самоспасатели должны быть устойчивы к воздействию климатических и тепловых воздействий. Они должны сохранять работоспособность после последовательного воздействия температуры  $(50 \pm 3)^\circ\text{C}$  в течение 24 ч, температуры минус  $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$  в течение 4 ч, температуры  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$  при относительной влажности  $(90 \pm 5)\%$  в течение 24 ч, а также после пребывания при температуре  $200^\circ\text{C}$  в течение  $(60 \pm 5)$  с, выдерживать воздействие открытого пламени с температурой  $(800 \pm 50)^\circ\text{C}$  в течение  $(5,0 \pm 0,2)$  с и теплового потока плотностью  $(8,5 \pm 0,5) \text{ кВт/м}^2$  в течение 3 мин.

Капюшон (лицевая часть) должен иметь только один размер, быть удобным и комфортным для ношения, не вызывать наминов третьей степени мягких тканей лица, шеи, головы человека и болевых ощущений в течение времени защитного действия самоспасателя. Он не должен ограничивать подвижность головы, шеи, рук и туловища человека при использовании самоспасателя, позволять ведение переговоров между людьми, использующими самоспасатели.

Конструкция смотрового окна капюшона должна препятствовать его запотеванию, существенно затрудняющему обзор человеку в самоспасателе, смотровое окно капюшона должно обеспечивать площадь поля зрения не менее 70 % от площади поля зрения без капюшона.

В связи с тенденцией сближения основных положений отечественных и зарубежных стандартов рассмотрим также Европейский стандарт EN 13794 : 2002 [8], который действует в странах Евросоюза и определяет минимальные требования для автономных дыхательных аппаратов замкнутого цикла с *химически связанным кислородом* ( $\text{KO}_2$ ,  $\text{NaClO}_3$ ) для спасения в экстренных ситуациях, но не распространяется на аппараты для работы и для спасательных мероприятий, а также для аппаратов для погружения.

В соответствии с EN 13794 : 2002 автономные дыхательные аппараты классифицируются: по источнику кислорода (регенеративный патрон на основе  $\text{KO}_2$  или хлоратная свеча на основе  $\text{NaClO}_3$ ) и по номинальному сроку действия (ВЗД при испытаниях на «Искусственных легких» при легочной вентиляции  $35 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ).

Стандарт [8] предъявляет следующие основные требования к конструкции аппаратов:

- аппарат должен быть как можно более компактным;
- аппарат должен быть сконструирован таким образом, чтобы он не мешал выполнению рабочих операций при ношении в соответствии с инструкцией изготовителя;
- аппарат должен быть сконструирован таким образом, чтобы у него не было выступающих деталей или острых граней, которые могли бы зацепляться за окружающие предметы при движении человека в узких проходах;
- поверхность любой части аппарата, которая соприкасается с пользователем, не должна иметь острых краев или заусенцев;
- аппарат должен быть сконструирован таким образом, чтобы предотвратить проникновение внешней атмосферы в аппарат в пределах, указанных в этом Европейском стандарте;
- аппарат должен быть сконструирован таким образом, чтобы предотвратить попадание химических веществ в дыхательные пути пользователя и чтобы слюна или конденсат не препятствовали работе аппарата и не оказывали бы негативного воздействия на пользователя;
- конструкция аппарата не должна допустить включение системы быстрого запуска (при ее наличии) по оплошности.

Корпус и запорное устройство (если аппарат им снабжен) должны быть надежно защищены от коррозии. Используемые материалы должны быть устойчивыми к воздействию температур и механических нагрузок, предполагаемых во время ношения на человеке, а также при хранении на механизмах или транспортных средствах.

Незащищенные части, т.е. те, которые могут быть подвержены ударам при его использовании, не должны быть изготовлены из алюминия, магния, титана или сплавов, содержащих такие количества этих металлов, которые могут при ударе привести к возникновению искр в результате трения, способных воспламенить горючие газовые смеси.

Неметаллические контейнеры для переноски должны быть антистатическими, сопротивление изоляции не должно превышать  $10^9$  Ом. Если необходимо, чтобы аппарат был антистатическим при эвакуации, использованные в рабочей части материалы также должны быть антистатическими.

Материалы, непосредственно соприкасающиеся с кожей пользователя, не должны оказывать раздражающего или иного вредного воздействия на его здоровье.

Масса аппарата в сборе, включая контейнер для переноски, не должна превышать 5 кг в том случае, когда аппарат предназначен для ношения, по крайней мере, в течение восьми часов.

При эксплуатации аппарат должен быть снабжен системой креплений или другими средствами поддержки, так чтобы руки носящего были свободными при использовании аппарата. Любая система креплений должна быть сконструирована таким образом, чтобы обеспечить быстрое, легкое и правильное одевание аппарата без посторонней помощи.

Аппарат должен обеспечивать возможность обращения с ним и приведения в действие просто и без излишнего напряжения в трудных условиях, например, в темноте и в тесном пространстве. Если контейнер аппарата снабжен специальным запорным устройством, то конструкция такого устройства должна быть такова, чтобы оно случайно не могло быть открыто.

Аппарат должен выдерживать вибрационные и ударные воздействия.

Аппарат должен быть устойчив к воздействию температуры и пламени: части аппарата не должны гореть или должны самопроизвольно прекращать гореть в течение пяти секунд после удаления из контрольного пламени.

Аппарат должен быть работоспособным в диапазоне температур  $-5...60$  °C и отвечать требованиям по содержанию кислорода, диоксида углерода и сопротивлению дыханию.

Аппарат должен удовлетворять требованиям по продолжительности работы для аппаратов его класса при испытаниях при  $35 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . Продолжительность работы при испытаниях при  $10 \text{ дм}^3/\text{мин}$  должна быть, по крайней мере, в 3 раза больше, чем при  $35 \text{ дм}^3/\text{мин}$ .

Объемная доля кислорода во вдыхаемом газе не должна быть менее 21 %.

Для аппаратов, срок действия которых на номинальном режиме составляет более 15 мин, при испытании на номинальном режиме объемная доля диоксида углерода во вдыхаемом газе не должна превышать 3 %, а средняя величина – 1,5 %. Для аппаратов, срок действия которых на номинальном режиме составляет 15 мин и меньше, имеется ограничение только по максимальной объемной доле диоксида углерода во вдыхаемой ГДС – она не должна превышать 3 % (объемных). После истечения срока работы на номинальном режиме и вплоть до увеличения сопротивления дыханию до 35 мбар объемная доля диоксида углерода не должна превышать 3 %.

При испытаниях аппарата на номинальном режиме температура вдыхаемого газа не должна превышать 60 °C в течение номинального ВЗД для относительной влажности ГДС до 30 %, для относительной влажности ГДС более, чем 30 %, температура вдыхаемого газа не должна превышать 50 °C.

Для аппаратов со временем работы на номинальном режиме до 30 мин включительно сумма сопротивлений вдоху и выдоху не должна превышать 16 мбар, а максимальное сопротивление дыханию на вдохе или на выдохе не должно превышать 10 мбар.

Для аппаратов с временем работы на номинальном режиме более 30 мин сумма сопротивлений вдоху и выдоху не должна превышать 13 мбар, а максимальное сопротивление дыханию на вдохе или на выдохе не должно превышать 7,5 мбар.

Для всех аппаратов сопротивление вдоху либо выдоху не должно превышать 20 мбар.

Аппарат должен быть подвергнут испытаниям на добровольцах в условиях, приближенных к реальным. Эти испытания имеют целью проверить аппарат на наличие в нем тех дефектов, которые не могут быть выявлены при других испытаниях по EN 13794 : 2002. Во время испытаний на добровольцах эксплуатационных характеристик температура поверхности аппарата должна быть приемлема для пользователя, если он одет в простой хлопчатобумажный жилет.

Испытания на добровольцах завершаются, когда сопротивление вдоху достигает 35 мбар, объемная доля кислорода во вдыхаемом воздухе падает ниже 17 %, а объемная доля диоксида углерода превышает 5 %.

Общие технические требования к регенеративным респираторам, применяемым горноспасательной службой угольной промышленности, и методы их испытания в свое время были установлены стандартом ОСТ 12.43.247–83 [9]. Он распространялся на разработку респираторов, постановку их на производство и изготовление и был обязателен для всех предприятий и организаций Минуглепрома СССР.

Все основные технические требования вытекают из основного функционального назначения регенеративного респиратора – обеспечение благоприятных условий дыхания и надежной защиты органов дыхания человека от непригодной для дыхания воздушной среды и регенерации воздуха в автономной изолированной системе «респиратор – органы дыхания» при выполнении человеком физической работы в течение установленного времени.

Коэффициент защиты регенеративного респиратора должен быть не менее  $5 \cdot 10^3$ , что обеспечивает защиту органов дыхания в воздушной среде с коэффициентом токсической опасности не более  $2 \cdot 10^{-4}$ . Указанные значения коэффициентов установлены стандартом с определенным запасом (около 25 %) по отношению к максимальному содержанию вредных примесей при аварии в шахте.

Для обеспечения указанного коэффициента защиты герметичность воздухопроводной системы респиратора должна быть такой, чтобы падение проверочного давления (разрежения) 800 Па не превышало 50 Па в первую минуту после его стабилизации, а коэффициент защиты лицевой части должен быть не меньше  $10^4$ . Поскольку лицевая часть респиратора является комплекующим изделием, коэффициент ее защиты проверяется отдельно при приемочных испытаниях. Подсос масляного тумана при испытании по ГОСТ 12.4.157–75 не должен превышать 0,01 %.

Интервал температур окружающего воздуха, в котором респираторы должны обеспечивать защиту, принят от минус 20 до плюс 60 °C при относительной влажности воздуха до 100 %, приведенной к температуре 35 °C (т.е. при массовой доле влаги в воздухе до 3,7 %). Диапазон атмосферного давления принят равным от 70 до 125 кПа, что соответствует высоте гор-

ной выработки над уровнем моря 3 км и глубине ниже уровня моря 1,8 км.

Стандарт [9] распространяется на три группы респираторов: со сжатым, жидким и химически связанным кислородом. Здесь мы остановимся только на требованиях к респираторам третьей группы, где должен использоваться кислородсодержащий продукт на основе надпероксидов щелочных металлов.

В зависимости от условий применения респираторы делятся на основные (рабочие) и вспомогательные. Основные респираторы предназначены для выполнения всех видов работ в непригодной для дыхания среде и являются основным средством индивидуальной защиты органов дыхания профессиональных горноспасателей. Вспомогательные респираторы имеют меньшее время защитного действия, меньшие размеры и используются для работы в тесных горных выработках, противотепловых костюмах, эвакуации пострадавших из загазованной среды, а также в качестве запасных аппаратов в горноспасательном отделении.

Респираторы должны обеспечивать дыхание в диапазоне нагрузок, соответствующих параметрам дыхательных режимов (см. табл. 5) при испытании на стенде – имитаторе дыхания в условиях атмосферного давления ( $100 \pm 2$ ) кПа и на людях при атмосферном давлении 70...125 кПа.

Основным является дыхательный режим № 5, при котором выделение углекислого газа равно  $1 \text{ дм}^3/\text{мин}$ , потребление кислорода –  $1,14 \text{ дм}^3/\text{мин}$  (СУ), а легочная вентиляция при испытаниях – примерно  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . Он соответствует энергозатратам около 400 Вт или горноспасательной работе средней тяжести. Применительно к данному режиму стандартом установлены все основные нормы: запас кислорода в респираторе, поглотительная способность регенеративного патрона, требования эргономики по составу вдыхаемой газовой смеси и условиям дыхания для гарантированного (номинального) ВЗД. Стандартом установлено следующее гарантированное ВЗД: для основных (рабочих) респираторов не менее 4 ч и для вспомогательных респираторов не менее 2 ч при температуре окружающей среды ( $25 + 1$ ) °С и атмосферном давлении ( $100 \pm 2$ ) кПа.

Критерием истощения запаса кислорода в респираторе с химически связанным кислородом является уменьшение коэффициента регенерации кислородсодержащего продукта до значения, меньшего 1,2, при среднем значении за гарантированное ВЗД не менее 1,5.

Регенеративный патрон респиратора должен обеспечивать поглощение суммарного объема диоксида углерода, равного произведению его выделения в количестве  $1 \text{ дм}^3/\text{мин}$  (СУ) за гарантированное ВЗД. Критерием истощения поглотительной способности патрона является увеличение объемной доли диоксида углерода выше допустимого значения в дыхательном мешке, т.е. после патрона.

В течение гарантированного ВЗД парциальное давление кислорода во вдыхаемой газовой смеси не должно быть менее 20 кПа, а углекислого газа – более 2 кПа при атмосферном давлении 70...125 кПа. При нормальном атмосферном давлении указанные значения парциального давления соответствуют объемным долям кислорода и углекислого газа 21 и 2 %, соответственно.

Так как определение объемной доли диоксида углерода во вдыхаемом воздухе при испытании на людях сопряжено с методическими трудностями, в респираторах с круговой циркуляцией контролируют объемную долю диоксида углерода в дыхательном мешке и ограничивают объем вредного пространства лицевой части величиной  $0,25 \text{ дм}^3$  [6]. С учетом такого значения вредного пространства, установлены следующие нормы объемной доли диоксида углерода в дыхательном мешке респираторов с круговой циркуляцией в течение гарантийного ВЗД: средние – не более 0,3 % для основного и 0,5 % для вспомогательного респиратора; максимальные – соответственно 1 и 1,2 %.

Для респираторов с химически связанным кислородом (основных и вспомогательных) полусумма средних сопротивлений вдоху и выдоху не должна превышать 300 Па, максимальных 500 Па.

Тепловые параметры вдыхаемой газовой смеси нормируются для двух значений температуры окружающего воздуха: 25 °С в течение гарантированного ВЗД и 40 °С в течение 30 мин с начала работы (в соответствии с табл. 7 допустимое время пребывания горноспасателя в среде, имеющей температуру 40 °С, равно 18 мин).

Кроме гарантированного, отраслевой стандарт [9] регламентирует фактическое ВЗД респиратора при четырех дыхательных режимах (№ 2, 5, 10, 15 и температуре окружающего воздуха 25 °С)

В течение фактического ВЗД объемная доля диоксида углерода в дыхательном мешке при всех режимах не должна превышать 1,5 %, сопротивление вдоху (выдоху) не должно быть более 1500 Па, а температура вдыхаемого воздуха превышать 45 °С. Испытания проводят при различной температуре окружающего воздуха: –20, 40 и 60 °С (при режиме № 5). В этих условиях фактическое ВЗД не должно быть менее соответственно 75, 25 и 10 % гарантированного.

Респиратор должен быть рассчитан на передвижение включенного в него человека по горизонтальным и наклонным (с углом наклона до 90°) горным выработкам, тесным выработкам поперечным сечением  $0,6 \times 0,6 \text{ м}$ , а также на передвижение ползком с надетым респиратором или снятым без выключения из него (последнее относится только к основным респираторам). Рабочее положение основного респиратора – на спине человека, а вспомогательного – на левом боку, груди или спине. Длина ранца (корпуса) основного и вспомогательного респираторов не должна превышать 460 мм. Ширина ранца не должна быть более 400 мм для основного респиратора и 360 мм для вспомогательного, а высота (т.е. толщина) – соответственно 175 и 145 мм. В указанные габариты не входят располагающиеся вне ранца дыхательные шланги и лицевая часть.

Масса снаряженного основного респиратора без лицевой части не должна превышать 12 кг, а вспомогательного – 9 кг. Сюда не входят вспомогательные устройства, применяющиеся эпизодически, например, заряд хладагента.

Респираторы должны быть устойчивы к внешним механическим и климатическим воздействиям. Они должны: выдерживать перевозку в упаковке автомобильным транспортом по дорогам с асфальтированным покрытием со скоростью 40...60 км/ч на расстояние 800...1000 км (к потребителю) или 400...500 км (при эксплуатации потребителем); быть виброустойчивыми при воздействии в течение 10 мин нагрузки с частотой 50...60 Гц и амплитудой 0,23 мм; быть удароустойчивыми при воздействии 1000 ударов с частотой 50 мин<sup>-1</sup>, длительностью ударного импульса 10...12,5 мс и максимальным ускорением  $50 \text{ м/с}^2$ . Респираторы должны сохранять исправность после транспортирования в течение 4 ч при температуре –50...50 °С и относительной влажности 80 %, приведенной к температуре 20 °С, а также после хранения в течение 10 суток при температуре 40 °С и относительной влажности 65 %, приведенной к температуре °С.

## 7.2. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Методы испытаний ИДА, в целом, аналогичны для всех упомянутых стандартов. Имеются некоторые отличия, связанные с температурными интервалами использования ИДА, условиями проведения испытаний на установке «Искусственные легкие», способами создания нагрузки, условиями проведения механических испытаний и т.д., прописанными в стандартах. Поэтому метод испытаний рассмотрим на примере методов, приведенных в [6].

### 7.2.1. Определение времени защитного действия при испытаниях на установке «Искусственные легкие»

Установка «Искусственные легкие» (ИЛ) является основным инструментом для определения характеристик ИДА. Существование испытаний на установке ИЛ состоит в том, что она создает пульсирующий поток ГДС, имитирующий дыхание человека. К выходному патрубку установки подсоединяют дыхательный аппарат и определяют характеристики аппарата (ВЗД, объемная доля диоксида углерода и кислорода во вдыхаемой ГДС, сопротивление дыханию, температура вдыхаемой ГДС) при заданном режиме испытаний (легочная вентиляция, частота дыхания, глубина дыхания, объемная подача диоксида углерода, влажность ГДС).

Схема установки ИЛ, на которой проводятся испытания по ГОСТ 12.4.220–2001, приведена на рис. 33.

Заданный режим дыхания в процессе испытания ИДА обеспечивается основным насосом сифонного, мембранного или поршневого типа, создающим пульсирующий поток ГДС с изменением объемного расхода, близким к синусоидальному. С основным насосом соединены линии вдоха и выдоха и система подачи диоксида углерода. Линия выдоха включает в себя термостат-увлажнитель и психрометр. Уровень воды в термостате-увлажнителе должен быть постоянным. Вода в термостате-увлажнителе нагревается электронагревателем, температура воды поддерживается постоянной с помощью терморегулирующего устройства.

Регулированием температуры в термостате-увлажнителе создаются требуемые значения температуры и влажности ГДС. При этом разница показаний сухого и смоченного термометров психрометра должна находиться от 0,1 до 1 °С. На линии вдоха расположен водяной холодильник, регулировка которого осуществляется путем подачи воды таким образом, чтобы температура ГДС за холодильником отличалась от комнатной не более чем на 2 °С. Отвод конденсата из холодильника осуществляют в герметично присоединенный сборник конденсата. Линии вдоха и выдоха присоединяют к основному насосу через клапанную коробку. Система подачи диоксида углерода содержит баллон с редуктором, расходомер, счетчик газа и антивозвратный клапан.

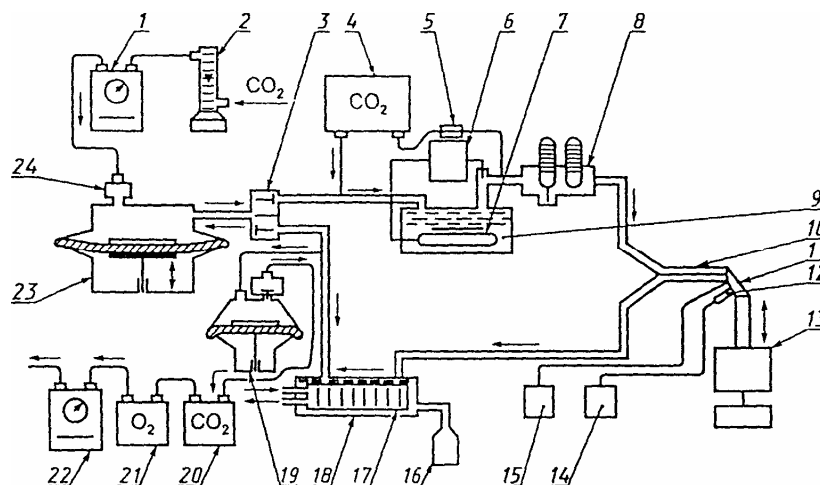


Рис. 33. Схема динамической установки ИЛ:

1 – газовый счетчик диоксида углерода; 2 – расходомер диоксида углерода; 3 – клапанная коробка; 4 – газонализатор диоксида углерода; 5 – пускатель расхода; 6 – терморегулирующее устройство; 7 – электронагреватель; 8 – психрометр; 9 – термостат-увлажнитель; 10 – тройник; 11 – переходник; 12 – термоэлектрический преобразователь; 13 – аппарат; 14 – вторичный прибор измерения температуры на выдохе; 15 – тягонапоромер; 16 – сборник конденсата; 17 – охлаждающие ребра; 18 – холодильник; 19 – вспомогательный насос; 20 – газонализатор диоксида углерода; 21 – газонализатор кислорода; 22 – газовый счетчик отсасываемой ГДС; 23 – основной насос; 24 – антивозвратный клапан

Самоспасатели присоединяют к выходному патрубку тройника установки ИЛ. Два других патрубка тройника соединяют с линиями вдоха и выдоха установки ИЛ. Для контроля объемной доли диоксида углерода в ГДС на линии выдоха непосредственно на выходе из термостата-увлажнителя отбирают пробу, которая затем через газонализатор диоксида углерода возвращается в линию выдоха перед входом в увлажнитель.

Установка ИЛ снабжена системой пропорционального отбора ГДС из линии вдоха (вспомогательным насосом), позволяющей анализировать объемную долю диоксида углерода и кислорода на входе. При этом ГДС, отбираемую вспомогательным насосом, прокачивают через газонализаторы диоксида углерода и кислорода, после чего пропускают через газосчетчик и сбрасывают в атмосферу. Сброс соответствует значению объема потребляемого кислорода, равен объему подаваемого в установку диоксида углерода. Отсос ГДС осуществляется из линии вдоха после холодильника.

Установка ИЛ обеспечивает объемный расход ГДС до  $(70 \pm 1)$  дм<sup>3</sup>/мин, температуру ГДС в линии выдоха  $(37 \pm 0,5)$  °С, относительную влажность ГДС в линии выдоха 92...100 %, частоту пульсаций до  $(30 \pm 1)$  мин<sup>-1</sup>. Выходной патрубком установки ИЛ находится в термокамере, обеспечивающей создание и поддержание температуры воздуха –40...60 °С, что охватывает возможный интервал эксплуатации для всех ИДА. Дыхательный аппарат присоединяют к выходному патрубку тройника установки ИЛ с помощью переходника.

В процессе испытаний контролируют следующие параметры установки ИЛ:

- температуру и влажность выдыхаемой ГДС;

- объемную долю диоксида углерода на выдохе;
- объем поданного диоксида углерода;
- объем удаляемой из установки ГДС.

При проведении испытания ИДА подсоединяют к выходному патрубку работающей установки ИЛ, одновременно приводят в действие пусковое устройство самоспасателя, включают секундомер, фиксирующий начало испытаний, и контролируют следующие параметры:

- время испытания;
- сопротивление дыханию на вдохе и выдохе;
- объемную долю диоксида углерода на вдохе;
- объемную долю кислорода на вдохе;
- температуру ГДС на вдохе;
- температуру поверхности аппарата, контактирующей с пользователем.

В ОАО «Корпорация «Росхимзащита» при поддержке РФФИ в 2006 – 2008 гг. проводится разработка принципиально новой установки ИЛ, в максимально возможной степени имитирующей испытания СИЗОД на испытателях-добровольцах. Известно, что качественная разработка ИДА невозможна без проверки их действия в реальных условиях. В настоящее время 95 % таких проверок проводится с использованием динамических установок ИЛ, имитирующих внешнее дыхание человека. Испытания на таких установках, создающих строго определенный стабильный режим работы, имеют определенные преимущества по сравнению с испытаниями аппаратов на людях. Главное из них – объективность и воспроизводимость результатов. В связи с этим все основные показатели ИДА (время защитного действия, эргономические характеристики) нормируются применительно к испытаниям на установке ИЛ.

Известные к настоящему времени динамические установки ИЛ недостаточно имитируют дыхание человека, в них отсутствует полная (по массе и объему) имитация потребления кислорода человеком при различных дыхательных режимах и соотношениях потребления кислорода и выделения диоксида углерода. Действующие установки не позволяют контролировать влажность дыхательной смеси на выходе из аппарата. Последнее не позволяет достоверно оценивать значения одного из основных параметров качества ИДА – температуру вдыхаемой газовой смеси, поскольку для различных значений влажности допустимые температуры существенно отличаются. Кроме того, параметры дыхания существующих установок могут изменяться лишь вручную по команде оператора, в то время, как при реальном использовании ИДА параметры дыхания человека и характеристики ИДА тесно связаны друг с другом. Известно также, что параметры дыхания людей очень сильно зависят от возраста, веса, физической нагрузки и т.д., что вносит в характеристики дыхания, создаваемого в стенде ИЛ, неопределенность в высокой степени. Поэтому налицо проблема неадекватности условий и результатов испытаний ИДА на установках ИЛ и людях, которая серьезно осложняет процесс проектирования ИДА в условиях неопределенности и, в ряде случаев, может направить его по неправильному пути.

В этой связи, определяющими проверками качества ИДА до настоящего времени являются их испытания на испытателях-добровольцах. Эти испытания достаточно дороги и требуют наличия квалифицированного персонала. При разработке ИДА разработчик старается ограничить их число, что приводит к снижению качества разработки и, следовательно, к повышению риска отказа аппарата при использовании по назначению. Поэтому проектирование и создание оригинального лабораторного образца испытательного стенда ИЛ, лишенного указанных выше недостатков, представляется крайне актуальным. Это особенно важно при разработке ИДА нового поколения с улучшенными физиолого-гигиеническими характеристиками. Исследования в этом направлении интенсивно проводятся во многих фирмах, в том числе в научно-образовательном центре НОЦ «ТГТУ – ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

Ранее в ходе выполнения проектов РФФИ 06-08-96358 «Разработка теории, методов и алгоритмов для управления системами имитации процессов дыхания человека» и 06-08-96327 «Теория и методы интегрированного проектирования гибких химико-технологических систем в условиях неопределенности» разработаны:

1. Ряд принципиально новых алгоритмов управления быстротекущими периодическими процессами, положенных в основу проектирования блока имитации потребления кислорода применительно к динамическим установкам ИЛ. Испытания макета блока в составе установки ИЛ показали принципиальную возможность создания автоматизированного испытательного стенда, позволяющего имитировать полное потребление кислорода человеком (по массе и объему).

2. Методология интегрированного проектирования гибкого производства наноструктурированных регенеративных продуктов и быстродействующие алгоритмы решения двухэтапной задачи интегрированного проектирования химико-технологических систем.

В рамках выполнения ОАО «Корпорация «Росхимзащита» совместно с ТГТУ в 2008 – 2009 гг. по гранту РФФИ № 08-08-13715 офи-ц «Интегрированное проектирование и создание лабораторного образца испытательного стенда "Искусственные легкие" для исследования и повышения эффективности функционирования изолирующих дыхательных аппаратов» планируется развить указанные выше подходы для максимального приближения параметров дыхания в испытательном стенде ИЛ к параметрам дыхания человека: спроектировать и создать необходимую новую элементную базу, программные комплексы, математическое и программное обеспечение, технические средства; разработать структуру системы управления механизмами полной имитации потребления кислорода и регулирования параметров дыхания испытательного стенда ИЛ в условиях неопределенности, связанной с изменением характеристик ИДА в ходе испытания; разработать программное обеспечение для функционирования блока полной имитации потребления кислорода и системы регулирования параметров дыхания; разработать автоматическую систему регистрации параметров дыхания и характеристик ИДА; спроектировать и изготовить лабораторный образец испытательного стенда ИЛ; определить функциональные характеристики испытательного стенда ИЛ; провести экспериментальные исследования с целью проверки соответствия результатов, полученных при испытаниях ИДА на испытателях-добровольцах и на испытательном стенде ИЛ.

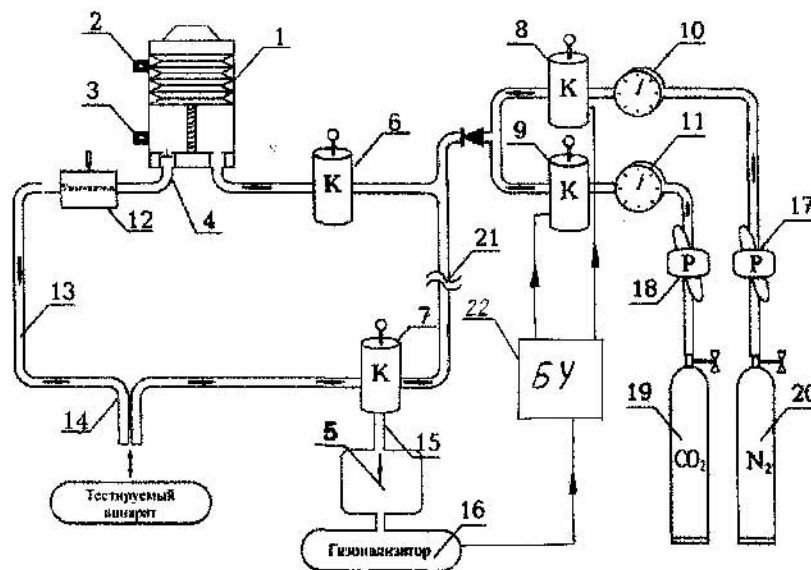


Ключевым результатом, составляющим фундаментальную основу новой разработки, будет являться создание методологии интегрированного проектирования испытательного стенда ИЛ в условиях неопределенности дыхания людей разного возраста и физических нагрузок.

Принципиальная схема установки ИЛ приведена на рис. 34.

В разрабатываемой установке азот, удаляемый из системы при сбросе ГДС на газовый анализ, компенсируется за счет подачи азота через блок дозирования. Этим достигается имитация потребления кислорода не только по объему, но и по массе, что в свою очередь обеспечивает большую сходимость испытаний ИДА на испыталелях-добровольцах и установке ИЛ.

2



**Рис. 34. Схема установки ИЛ с блоком дозирования диоксида углерода и азота и системой управления:**

1 – основной насос; 2 – датчик крайнего верхнего положения; 3 – датчик крайнего нижнего положения; 4 – клапан; 5 – эластичная емкость; 6, 7 – управляемый клапан; 8, 9 – высокочувствительный управляемый клапан; 10, 11 – расходомер; 12 – увлажнитель; 13 – тракт выдоха; 14 – клапанная коробка; 15 – патрубок; 16 – газоанализатор; 17, 18 – редуктор; 19, 20 – баллон; 21 – трубчатый виток; 22 – блок управления

### 7.2.2. Определение времени защитного действия самоспасателей на испыталелях-добровольцах

Для проведения испытаний используются:

- движущаяся дорожка с меняющимися скоростями движения ленты до 8 км/ч и углом подъема до 20°;
- термокамера вместимостью не менее 4 м<sup>3</sup>, обеспечивающая создание и поддержание температуры воздуха от минус (40 ± 2) до плюс (50 ± 2) °С и визуальное наблюдение за испыталелями, снабженная переговорным устройством.

К испытаниям допускают испыталелей-добровольцев, имеющих регулярный практический опыт в использовании изолирующих дыхательных аппаратов, медицинское свидетельство о состоянии здоровья и допущенных к испытаниям врачом, а также изучивших руководство по применению самоспасателя.

Для измерения температуры ГДС и сопротивления дыханию в самоспасателе с загубником непосредственно перед лицевой частью в месте смешения потоков вдоха и выдоха устанавливают штуцеры для термоэлектрического преобразователя и соединения с тягонапорометром. В ИДА с другими лицевыми частями, кроме загубников, штуцеры для контроля сопротивления дыханию и температуры ГДС устанавливают непосредственно в лицевой части. Конец термоэлектрического преобразователя, установленного в штуцере, должен находиться в месте смешения потоков вдоха и выдоха.

Перед испытаниями испыталелей подвергают медицинскому осмотру, измеряют температуру тела, частоту пульса, частоту дыхания, артериальное давление, массу. Самоспасатель готовят к проведению испытаний (устанавливают штуцеры в лицевую часть или дыхательный мешок и, при необходимости, переходник для подключения приборов).

Испыталели должны включиться в аппарат в соответствии с руководством по эксплуатации дыхательного аппарата, после чего им создают физическую нагрузку путем выполнения дозированной физической работы (ходьба по движущейся дорожке по определенной программе, работа на эргометрических приборах). Также проводится проверка работоспособности самоспасателя на испыталелях-добровольцах, находящихся в состоянии покоя.

В процессе определения ВЗД контролируют следующие параметры:

- объемные доли диоксида углерода и кислорода;
- температуру ГДС;
- сопротивление дыханию.

В связи с методическими трудностями объемную долю диоксида углерода во вдыхаемой ГДС при испытании на добровольцах, как правило, измеряют в дыхательном мешке или в линии вдоха (для самоспасателей с круговой схемой дыхания). После испытания фиксируется субъективная оценка характеристик самоспасателя. Записывают: наличие раздражающих веществ в дыхательной смеси, температуру наружной поверхности самоспасателя.

В других стандартах методика проведения испытаний на добровольцах, в основном, отличается способами создания физической нагрузки.

### 7.2.3. Определение продолжительности включения в самоспасатель, удобства вскрытия футляра и включения в самоспасатель

Перед испытаниями испыталеля знакомят с правилами включения в самоспасатель. При испытаниях самоспасатель находится на испыталеле в походном положении, а испыталель – в положении стоя. Испыталели должны включиться в само-

спасатель (надеть лицевую часть и запустить самоспасатель) без посторонней помощи. Время включения в дыхательный аппарат определяют по секундомеру.

По окончании испытания испытуемый оценивает удобство вскрытия и включения в самоспасатель как «удовлетворительное» или «неудовлетворительное», а также надежность крепления очков и возможность случайного вскрытия в процессе ношения.

#### 7.2.4. Испытания на воспламеняемость

Испытания на *стойкость к воздействию открытого пламени* проводят на установке, состоящей из штатива с приводом, позволяющим регулировать скорость вращения до 100 мм/с, и пропановой горелки с регулятором высоты пламени.

При проведении испытания рабочую часть ИДА устанавливают в рамке на штативе таким образом, чтобы испытуемая часть аппарата находилась на расстоянии 20 мм от верхнего края горелки. Температура пламени на высоте 20 мм от верхнего края горелки в зоне испытания – 750...850 °С, общая высота пламени – 40 мм. Скорость вращения аппарата должна составлять 55...65 мм/с. Каждую часть дыхательного аппарата пропускают через пламя горелки только один раз.

Аппараты после испытания должны сохранять герметичность.

#### 7.2.5. Испытания на стойкость к климатическим воздействиям

ИДА в упаковке помещают в климатическую камеру, позволяющую создавать и поддерживать температуру от минус 45 до плюс 55 °С. В камере устанавливают режимы температуры и влажности в последовательности, оговоренной в стандарте. В соответствии с [6]:

- понижают температуру в камере до минус  $(40 \pm 2)$  °С и выдерживают самоспасатели при этой температуре в течение 20 ч;
- повышают температуру в камере до  $(50 \pm 2)$  °С и выдерживают самоспасатели при этой температуре в течение 36 ч, после чего понижают температуру до  $(20 \pm 2)$  °С и выдерживают самоспасатели четыре часа;
- понижают температуру в камере до минус  $(15 \pm 2)$  °С и выдерживают самоспасатели при этой температуре не менее двух часов, затем повышают температуру до  $(15 \pm 2)$  °С и одновременно доводят относительную влажность воздуха до  $(95 \pm 3)$  %. Выдерживают самоспасатели еще два часа. Цикл повторяют пять раз;
- повышают температуру в камере до  $(40 \pm 2)$  °С и выдерживают самоспасатели четыре часа при ненормируемой влажности, после чего повышают относительную влажность воздуха до  $(95 \pm 3)$  % и выдерживают самоспасатели при заданных значениях температуры и влажности еще 120 ч.

Самоспасатели считают выдержавшими климатические испытания, если при визуальном осмотре защитные покрытия, резиновые детали и ремни находятся в удовлетворительном состоянии, не обнаружено коррозии металлических поверхностей, самоспасатели герметичны и выдержали испытания по номинальному ВЗД.

#### 7.2.6. Испытания на стойкость к механическим воздействиям

Испытания на стойкость к *транспортным нагрузкам* проводят на ударном стенде, позволяющем воспроизводить серию ударов с пиковым ударным ускорением 98...147 м/с<sup>2</sup>, длительностью действия ударного ускорения 2...20 мс и частотой ударов 40...120 мин<sup>-1</sup>.

Самоспасатели в упаковке жестко крепят на платформе ударного стенда в положении, соответствующем их установке на транспортном средстве, после чего подвергают нагрузке, соответствующей НТД.

При испытаниях *на стойкость к ударам* при падении самоспасатель подвергают троекратному падению с высоты 1,5 м на бетонный пол в различных положениях:

- горизонтально на боковую поверхность – один раз;
- вертикально на дно – один раз;
- вертикально на крышку – один раз.

Испытания самоспасателей *на раздавливание* проводят медленным раздавливанием самоспасателей на гидравлическом прессе в трех положениях:

- в вертикальном и наклонном (по диагонали самоспасателя) – с усилием 10 т;
- в горизонтальном – с усилием 40 т.

После испытаний не должно наблюдаться высыпание регенеративного продукта из самоспасателей.

#### 7.2.7. Определение наличия пыли регенеративного продукта в воздуховодной системе самоспасателя

Наличие пыли регенеративного продукта определяют на установке (рис. 35).

Испытания проводят при температуре окружающего воздуха 15...35 °С. При проведении испытания создают постоянный поток сухого воздуха с объемным расходом  $(60,0 \pm 1,8)$  дм<sup>3</sup>/мин через РП в направлении вдоха в течение 5...7 с. Одновременно с началом продува РП располагают ватный тампон, смоченный 1%-ным спиртовым раствором фенолфталеина, на расстоянии  $(2,5 \pm 0,5)$  см от края патрубка патрона, через который ГДС направляется на вдох. При наличии пыли регенеративного продукта, на поверхности тампона появляется красное пятно.

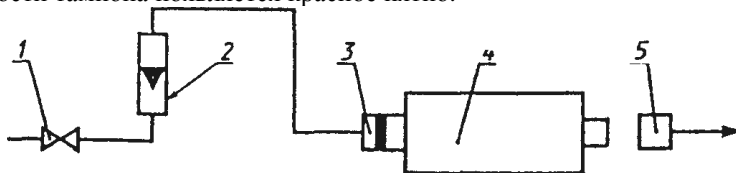


Рис. 35. Схема установки для определения наличия пыли регенеративного продукта:

1 – регулирующий вентиль; 2 – расходомер; 3 – присоединительное устройство; 4 – регенеративный патрон; 5 – ватный тампон

Положительным результатом испытания является отсутствие окраски на тампоне.

### 7.2.8. Определение герметичности воздуховодной системы

Для определения герметичности в воздуховодной системе самоспасателя последовательно создается избыточное давление и разрежение ( $980 \pm 98$ ) Па или ( $100 \pm 10$ ) мм вод. ст. и определяют изменение давления или разрежения.

Результат считают положительным, если в течение 60 секунд с момента установления требуемого давления или разрежения изменение давления соответствует НТД, в частности, для самоспасателей составляет не более 156 Па (16 мм вод. ст.). В противном случае воздуховодную систему считают негерметичной.

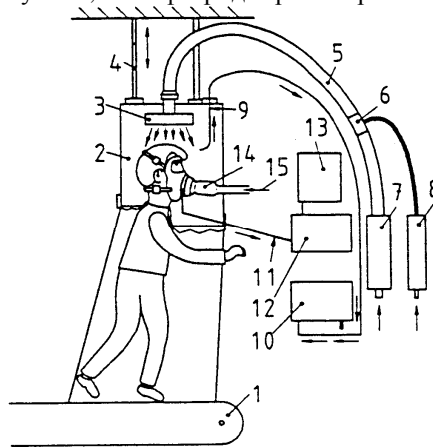
### 7.2.9. Определение рабочего объема дыхательного мешка

Для определения рабочего объема дыхательного мешка создают в нем разрежение 490 Па (50 мм вод. ст.), после чего через газовый счетчик типа ГСБ-400 подают воздух с постоянным объемным расходом ( $1,5 \pm 0,12$ )  $\text{дм}^3/\text{мин}$  до момента открытия КИД, который определяют как момент стабилизации показаний мановакуумметра.

Рабочий объем определяют по разности в показаниях газового счетчика.

### 7.2.10. Определение коэффициента подсоса по полосе обтюрации лицевой части

Сущность данного метода заключается в определении отношения концентрации тестового вещества, проникшего в подмасочное пространство, к концентрации тестового вещества в аэрозольной камере. В качестве тест-веществ в различных стандартах используют аэрозоль масляного тумана, гексафторид серы и аэрозоль хлорида натрия.



**Рис. 36. Схема установки для определения коэффициента подсоса с использованием гексафторида серы:**

1 – беговой мостик; 2 – камера; 3 – распределитель потока; 4 – суспензия; 5 – шланг для подачи испытываемой атмосферы; 6 – место смешения воздуха и гексафторида серы; 7 – расходомер воздуха, снабженный контрольным устройством; 8 – расходомер гексафторида серы, снабженный контрольным устройством; 9 – пробоотборник для отбора испытываемой атмосферы; 10 – оборудование для измерения испытываемой атмосферы; 11 – трубка для отбора проб для определения концентрации вдыхаемого газа; 12 – инструмент для измерения концентрации выдыхаемого газа; 13 – регистрирующее устройство; 14 – модель фильтра; 15 – воздух для дыхания без испытательного вещества

Испытатель в надетом аппарате помещает голову в аэрозольную камеру. На штуцер лицевой части надевают резиновую трубку, соединяющую подмасочное пространство лицевой части с переключателем потоков, и в аэрозольную камеру направляют тест-вещества. При появлении подсоса измеряют концентрацию тест-веществ в подмасочном пространстве дыхательного аппарата и в аэрозольной камере при помощи фотометра, детектора захвата электронов (ДЗЭ) или ИК-спектрометра в покое и при выполнении нагрузки, которая создается поворотами головы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для создания нагрузки возможно также размещение внутри камеры бегового мостика (рис. 36).

## 8. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУИРОВАНИЮ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, СВЯЗЬ КОНСТРУКЦИИ С ОБЛАСТЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ

### 8.1. ЗАДАЧА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Общую задачу проектирования ИДА можно сформулировать как комплекс работ по изысканиям, исследованиям, расчетам и конструированию с целью разработки всей технической документации, необходимой для создания и изготовления нового изделия в соответствии с требованиями технического задания.

Изолирующий дыхательный аппарат как технический объект является достаточно сложной системой, состоящей из большого числа взаимодействующих элементов и характеризующейся связностью элементов, управляемостью, изменяемостью и иерархичностью, т.е. возможностью расчленения на уровни. Это позволяет применить при проектировании ИДА блочно-иерархический подход, разделяя сложную проблему создания нового изделия на ряд последовательно решаемых задач малой сложности.

Известны следующие иерархические уровни: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты. Сборочные единицы также могут иметь различные иерархические уровни. Например, пусковое устройство (сборочная единица) является элементом регенеративного патрона – сборочной единицы более высокого уровня. Последняя, однако, может входить в качестве

элемента в комплекс – индивидуальный дыхательный аппарат.

В общем случае ИДА имеют следующие основные составные части, которые можно рассматривать как функциональные системы:

- лицевая часть;
- регенеративный патрон;
- соединительные шланги;
- дыхательный мешок с клапаном избыточного давления;
- наружный футляр (сумка);
- теплообменник (холодильник).

Для отдельных ИДА в состав образца входят корпус – несущая конструкция аппарата, поглотительный патрон и ряд других элементов.

## 8.2. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Разработку СИЗОД проводят по ГОСТ Р 15.201–2000. При проектировании СИЗОД установлены следующие стадии разработки конструкторской документации: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация. Все перечисленные стадии подготовки технической документации являются результатом выполнения определенных этапов проектирования.

*Техническое задание (ТЗ)* устанавливает назначение аппарата и требования, предъявляемые к нему. Обычно разработка технического задания и, далее, технического предложения требует поиска информации, характеризующей условия работы аппарата, обоснования требований к параметрам ГДС, массе и габаритам аппарата, а также анализа конструкций аналогичных аппаратов. С этой целью приходится обращаться к научно-технической литературе (монографиям, периодическим изданиям, а также научно-техническим отчетам отраслевых НИИ, каталогам, патентно-лицензионной и изобретательской документации).

Как правило, техническое задание разрабатывает Заказчик, в отсутствие которого оно разрабатывается исполнителем. В любом случае исполнитель устанавливает назначение проектируемого аппарата, требования к нему, условия его эксплуатации, разрабатывает (анализирует) техническое задание, включающее показатели качества изделия, согласует с заинтересованными организациями и утверждает (при необходимости) ТЗ.

*Этап предварительного проектирования* (научно-исследовательских работ – НИР) позволяет на основании синтеза и анализа различных принципов и структур получить новое техническое решение и технико-экономическое обоснование целесообразности разработки определенных вариантов аппарата и сформулировать техническое предложение по ГОСТ 2.118–73.

На стадии разработки *технического предложения* исполнитель подбирает и изучает необходимый информационный материал, обосновывает техническую и технико-экономическую целесообразность создания различных вариантов изделия с учетом имеющегося опыта и патентных материалов, разрабатывает техническое предложение с присвоением документам литеры «П», рассматривает и утверждает техническое предложение. Эту стадию, как правило, выполняют при разработке дыхательных аппаратов с принципиально новыми показателями и характеристиками.

На стадии *эскизного проекта* исполнитель разрабатывает конструкторскую документацию, содержащую принципиальные конструкторские решения, поясняющую устройство и принцип работы изделия, основные его параметры, выполняет важнейшие схемы, чертежи общего вида, ответственных сборочных единиц, наиболее важных деталей (документам присваивают литеру Э), изготавливает и испытывает макеты, рассматривает и утверждает эскизный проект. Эскизный проект выполняется по ГОСТ 2.119–73 и содержит соответствующую техническую документацию, включающую, при необходимости, чертежи общего вида аппарата, основных сборочных единиц и наиболее сложных деталей.

*Этап технического проектирования* заключается в проработке основных схемных, конструкторских и технологических решений и включает, как правило, изготовление и испытания действующих макетов аппаратов. При разработке технического проекта (совокупности конструкторских документов, которые содержат окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей конструкторской документации) исполнитель выполняет следующие работы:

- создает конструктивные решения изделия и его составных частей и подсистем, в том числе, при необходимости, разрабатывает чертежи сборочных единиц и деталей;
- выполняет все необходимые расчеты, в том числе подтверждающие технико-экономические показатели, установленные техническим заданием;
- выполняет все необходимые схемы (гидравлическую, иллюстрирующую массо- и теплоперенос в аппарате, при необходимости электрическую и др.);
- разрабатывает и обосновывает технические решения, обеспечивающие установленные техническим заданием показатели надежности;
- анализирует технологичность конструкции изделия с учетом требований нормативно-технической документации, действующей на предприятии-изготовителе; выявляет потребности в новом технологическом оборудовании для изготовления изделия;
- оценивает изделие с точки зрения его соответствия требованиям промышленной экологии, эргономики, технической эстетики, транспортабельности, хранения, а также монтажа изделия на месте его использования;
- оценивает эксплуатационные данные изделия (взаимозаменяемость, удобство обслуживания, ремонтпригодность, устойчивость к воздействию внешней среды, возможность быстрого устранения отказов, контроля качества работы, обеспеченность контроля технического состояния и т.д.);
- обеспечивает указанный в техническом задании уровень стандартизации и унификации изделия;
- проверяет патентную чистоту и конкурентоспособность изделия, оформляет заявки на изобретения;
- выявляет номенклатуру покупных изделий;
- оценивает технический уровень и качество изделия;
- проверяет соответствие принятых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии.

Техническая документация разрабатывается в соответствии с ГОСТ 2.120–73 с присвоением литеры Т, технический проект рассматривают и утверждают.

Далее для опытного образца (опытной партии) разрабатываемого изделия исполнитель разрабатывает конструкторскую документацию, необходимую для изготовления всех деталей и для сборки изделия (рабочие чертежи деталей, спецификации разрабатываемого оборудования), изготавливает и проводит испытания опытного образца (опытной партии), и корректирует конструкторскую документацию по результатам изготовления и испытаний.

На этой стадии проводят предварительные, приемочные и другие испытания опытного образца (опытной партии) изделий. При корректировке документов по результатам предварительных испытаний им присваивают литеру О, по результатам приемочных – литеру О<sub>1</sub>, а при последующих испытаниях опытного образца (опытной партии) и соответствующих корректировках конструкторских документов им присваивают литеру соответственно О<sub>2</sub>, О<sub>3</sub> и т.д.

После изготовления и испытания установочной серии изделий исполнитель корректирует конструкторские документы по результатам изготовления, испытания и оснащения технологических процессов основных составных частей изделия с присвоением документам литеры А.

Для установившегося серийного или массового производства исполнитель корректирует конструкторские документы по результатам изготовления головной (контрольной) серии с присвоением литеры Б документам, окончательно отработанным и проверенным в производстве при изготовлении изделия по зафиксированному и полностью оснащенному технологическому процессу.

Конструкторским документам для индивидуального производства, предназначенным для разового изготовления одного или нескольких изделий, присваивают литеру И.

### 8.3. СТРУКТУРНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АППАРАТА

Структурный синтез дыхательного аппарата – часть процесса проектирования, связанная с выбором варианта схемы аппарата и его устройств. Структурный синтез выполняют по блочно-иерархическому принципу. В соответствии с ним на каждом уровне проектирования синтезируется определенный ранг системы: первоначально – общая схема, затем функциональная схема и конструкции функциональных систем, определяющих работу ИДА, – отдельные функциональные элементы и детали, входящие в сборочные единицы.

Структурный синтез при разработке ИДА в настоящее время еще недостаточно формализован; в большинстве случаев его выполняют *эвристическими методами*, опирающимися преимущественно на эрудицию и интуицию конструктора. При этом большую помощь конструктору оказывают опыт работ, знание предыдущих разработок и аналогов, различные справочные пособия.

Параметрический синтез дыхательного аппарата решает задачу определения основных конструктивных (геометрических и механических) параметров аппарата в целом и его основных составных частей. Например, при проектировании системы кондиционирования ГДС к основным конструктивным геометрическим параметрам относятся диаметр и длина теплообменника, площадь поверхности теплообмена и площадь поперечного сечения. В большинстве случаев параметрический синтез является задачей оптимизационного типа: параметры дыхательного аппарата должны быть определены таким образом, чтобы заданный или выбранный показатель имел оптимальное значение.

### 8.4. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Каждый этап проектирования изолирующего дыхательного аппарата связан с выполнением определенных экспериментальных и теоретических исследований.

Цель *экспериментальных исследований* при проведении конструирования – получение достаточно достоверной информации о предмете конструирования при помощи измерений и наблюдений в специально создаваемых и точно учитываемых условиях. Экспериментальное исследование процессов функционирования предмета исследований проводят на специальных лабораторных установках, оснащенных приборным оборудованием для определения характеристик разработки. Применительно к ИДА испытания макетов и опытных образцов проводят по методам, указанным в гл. 7. Наиболее информативны испытания на установке «Искусственные легкие», которые позволяют установить соответствие фактических значений основных показателей назначения аппарата (ВЗД, сопротивление дыханию, температура вдыхаемой ГДС и т.п.) проектным.

Цель *теоретического исследования* – изучение общих количественных и качественных закономерностей явления, в частности, технологического процесса, протекающего в аппарате. В основе такого анализа для ИДА лежат представления о физическом и химическом механизме процесса регенерации, описанные при помощи процессов массо- и теплопереноса. В большинстве случаев теоретическое исследование выполняют в комплексе с экспериментальным; данные последнего используют либо для построения, либо для проверки теоретических решений.

Теоретические исследования можно выполнять аналитическими или численными методами; при этом предполагают, что возможен вывод основных уравнений (в дифференциальной или другой форме), описывающих физическую сущность процесса. Если удастся дать полное аналитическое решение задачи, то результатом его является раскрытие количественных закономерностей, определяющих изучаемый процесс. Однако во многих случаях аналитические методы нельзя использовать из-за большой математической сложности задач; введение допущений, упрощающих их решение, приводит к неточным или неправильным результатам. В подобных случаях можно применять численные методы, позволяющие получать решения с любой заданной точностью, однако эти решения не отражают общей картины явления.

Известно, что при разработке ИДА конструктивные элементы подбираются преимущественно экспериментальным способом. Расчет каждого элемента выполняется отдельно, при этом целью расчета является определение статических характеристик элемента. Методика таких расчетов основана на балансных соотношениях и интегральных характеристиках процессов. Поскольку дыхательные аппараты работают в нестационарных режимах, расчет конструктивных элементов производится для пиковых нагрузок. Поэтому аппарат, разработанный таким образом, будет избыточно громоздким и материалоемким, а конечным результатом проектирования, как правило, является выбор ранее использованных вариантов конструкций.

В тех случаях, когда при оценке эффективности решений затруднительно проведение натурных экспериментов, вычислительные и имитационные действия с моделями сложных объектов на базе компьютерных систем обработки информации превращаются в основной инструмент исследований последствий решений и оценки их эффективности.

Однако при разработке ИДА методы математического моделирования практически не используются. Основной причиной этого является многообразие и параллельное протекание процессов, происходящих в ходе реакции регенерации (процес-

сы хемосорбции, нестационарные движения газовых потоков, тепловыделение и теплоотвод и др.), и неадекватность разработанных ранее математических моделей практическим результатам. Известны попытки выполнить расчет ИДА в нестационарных режимах, которые сводились к решению уравнений математических моделей численными методами. В свете современных представлений такой подход можно считать не совсем удачным, так как численные методы имеют ряд недостатков. Найденное решение здесь почти всегда зависит от начального приближения, шага, точности и т.д., поэтому почти всегда следует проводить анализ полученных результатов. Кроме того, для большинства численных методов, как правило, существует достаточно узкая область значений искомых и задаваемых параметров, в которой метод будет работать гарантированно надежно. До настоящего времени ни одна модель ИДА не прошла проверку на адекватность. Основная причина – модель рассмотрена вне связи с интегральными характеристиками ИДА.

В 2006–2007 гг. в рамках проекта РФФИ 06-07-89008 разработана новая методология математического моделирования ключевой подсистемы ИДА – регенеративного патрона, от которого, в основном, и зависят интегральные характеристики ИДА. С ее использованием получены аналитические решения задач нестационарной теплопроводности и диффузии и их программной реализации:

- для ограниченного цилиндра с произвольным начальным условием и неоднородными граничными условиями;
- для потока жидкости, движущейся по каналу в условиях тепло- и массообмена со стенками канала.

Разработанные модели рассмотрены для частного случая однонаправленного движения потока целевых компонентов в одном направлении по регенеративному патрону цилиндрической формы.

В ходе выполнения проекта № 06-07-89008 была также разработана методология экспериментального определения массовых долей веществ, участвующих в процессе регенерации, и температуры реакции в локальных областях патрона. Для однонаправленного движения газового потока получены зависимости, описывающие движение температурного фронта и наиболее интенсивного протекания процесса хемосорбции. Показана связь между процессами массообмена и движением температурного фронта в ходе реакции хемосорбции.

При разработке конструкции ИДА теоретические исследования в настоящее время используются в незначительной степени ввиду отсутствия надежных моделей функционирования ИДА, это направление, безусловно, является перспективным.

## **8.5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Эффективность и современный технический уровень индивидуальных дыхательных аппаратов определяются десятью группами *показателей качества*, характеризующими их основные свойства. Показатели качества являются важным элементом, формирующим требования к конструкции дыхательного аппарата; группы этих показателей приведены ниже.

*Показатели назначения* характеризуют функциональные свойства аппарата (время защитного действия при различных нагрузках, содержание вредных примесей в атмосфере, при которых аппарат должен обеспечивать защиту, диапазоны температур, при которых предполагается использовать аппарат, для каких работ, для какого контингента и возраста предназначен аппарат и др.) и определяются назначением дыхательного аппарата.

*Эргономические показатели* (сопротивление дыханию, температура вдыхаемой ГДС, объемная доля диоксида углерода и кислорода во вдыхаемой ГДС, размеры лица человека, для защиты которого предназначен аппарат, углы обзора, разборчивость речи и др.) характеризуют условия функционирования аппарата при использовании его пользователем.

*Надежность*, т.е. свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.001–95).

*Экономические показатели* (стоимость разработки, подготовки производства и изготовления ИДА) являются основополагающими при принятии решения о целесообразности разработки ИДА.

*Показатели технологичности* характеризуют свойства дыхательного аппарата, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, средств труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации изделия. К показателям технологичности относятся, например, трудоемкость изготовления изделия, его технологическая себестоимость, удельная стоимость ремонтов и т.д.

*Показатели стандартизации и унификации*, например, коэффициенты применяемости, повторяемости, взаимной унификации и другие отражают степень использования стандартных и однотипных узлов и деталей в данном изделии.

*Показатели транспортабельности* характеризуют устойчивость ИДА к транспортированию, не сопровождающемуся использованием изделия по назначению. Такими показателями являются, в частности, устойчивость к механическим воздействиям, средняя продолжительность и трудоемкость подготовки оборудования к транспортированию, средняя продолжительность установки изделия на средство транспортирования, коэффициент использования его объема и др.

*Патентно-правовые показатели* (показатели патентной защиты, патентной чистоты и др.) характеризуют степень обновления технических решений, использованных во вновь спроектированном дыхательном аппарате, их патентную защиту, а также возможность его беспрепятственной реализации в России и за рубежом.

*Экологические показатели* определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду при эксплуатации ИДА. К таким показателям относятся, например, содержание вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду, вероятность выброса вредных частиц, газов, излучений при хранении, транспортировании, эксплуатации дыхательного аппарата и т.д.

*Показатели безопасности* характеризуют особенности дыхательного аппарата, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при транспортировании, монтаже, эксплуатации, хранении.

*Эстетические показатели* изделия (форма, цветовая гамма, стиль и др.) определяют совершенство его художественного облика.

Различают показатели качества *прогнозируемые*, т.е. указанные в техническом задании на проектирование дыхательного аппарата, *проектные* (найденные в результате проведения расчетно-конструкторских работ), *производственные* (полученные при контрольных испытаниях аппаратов) и *эксплуатационные* (соответствующие условиям эксплуатации дыхательных аппаратов).

Помимо указанных показателей качества при конструировании новых аппаратов должны учитываться *основные тенденции развития отрасли и ситуация на рынке*.

К таким тенденциям в настоящее время можно отнести:

- снижение массы и габаритов ИДА;

- улучшение физиолого-гигиенических характеристик ИДА (снижение сопротивления дыханию, температуры вдыхаемой ГДС и т.д.);
- повышение надежности ИДА;
- повышение экономической эффективности разработки и производства ИДА (тщательное экономическое обоснование необходимости создания новых элементов и нового оборудования на всех стадиях разработки и внедрения, обеспечение минимальных материало- и энергозатрат производства при заданной производительности);
- повышение удобства при эксплуатации ИДА.

При оценке ситуации на рынке следует учитывать, что новое изделие, как правило, должно по своим технико-экономическим показателям превосходить аналогичные существующие лучшие образцы. При сравнении с аналогами, как правило, используют критерий «соотношение качество – цена».

Легко обнаружить, что перечисленные требования взаимосвязаны, причем в одних случаях их воздействия на определенные показатели качества проектируемого ИДА совпадают, в других – нет. Например, требования функциональной эффективности, технологичности, экономической эффективности однозначно связаны с рядом показателей качества; это относится также к соотношению требований надежности и прочности. В конкурирующем соотношении по влиянию на экономическую эффективность находятся, например, требования прочности, жесткости, устойчивости, с одной стороны, и минимальной материалоемкости, экономической эффективности – с другой. Повышение прочности, жесткости ведет к увеличению материалоемкости и, поскольку стоимость ИДА в значительной мере зависит от стоимости материалов, пошедших на его изготовление, к увеличению затрат и, при прочих равных условиях, к снижению экономической эффективности. Использование при конструировании принципа равнопрочности, т.е. соблюдение требования, в соответствии с которым нагружаемые элементы имеют одинаковый запас надежности по отношению к действующим на них нагрузкам, позволяет уменьшить их материалоемкость. Однако при этом необходимо учитывать возможность уменьшения жесткости деталей, а в ряде случаев усложнение их формы, что может затруднять технологию их изготовления.

Противоречивость требований, предъявляемых к конструкциям дыхательных аппаратов, выдвигает задачу поиска оптимального решения, при котором соотношение отдельных требований обеспечивает наибольшую эффективность ИДА. Следовательно, их проектирование является задачей оптимизационного типа, и соответствующий процесс ее решения называется оптимизационным проектированием изолирующего дыхательного аппарата.

## 8.6. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

При создании индивидуальных автономных дыхательных аппаратов высокое качество изделий обеспечивают использованием в процессе проектирования единой нормативно-технической документации, а также широким применением в конструкциях стандартных и унифицированных деталей и узлов.

Вся конструкторская документация выполняется в соответствии с требованиями стандартов единых систем конструкторской (ЕСКД) и технологической (ЕСТД) документации, Единой системы допусков и посадок (ЕСДП), Единой системы защиты от коррозии и старения материалов и изделий (ЕСЗКС), Системы стандартов безопасности труда (ССБТ) и др.

Наряду с общими ГОСТ используют и отраслевые узкоспециализированные стандарты, которые позволяют более детально описать требования и нормы разработки оборудования с учетом специфики прикладной области.

Требования к чертежам и правила их выполнения даются по ЕСКД (единая система конструкторской документации) ГОСТ 2.001 – ГОСТ 2.125; общие правила выполнения чертежей – по ГОСТ 2.300 – ГОСТ 2.320; правила выполнения чертежей различных изделий – по ГОСТ 2.401 – ГОСТ 2.426; правила внесения изменений – по ГОСТ 2.503; эксплуатационная и ремонтная документация – по ГОСТ 2.601 – ГОСТ 2.608. Используются также различные справочные пособия, выпускаемые издательством стандартов. Вся применяемая справочная литература постоянно переиздается и дополняется новыми разделами.

## 8.7. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Задача конструктора – это создание изделий, отвечающих потребностям человека, дающих наибольший экономический эффект и обладающих наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

Главными показателями при разработке ИДА являются:

- обеспечение функциональных характеристик и показателей назначения дыхательных аппаратов в соответствии с требованиями ТЗ;
- прочность, надежность, малая масса и металлоемкость, габариты, объем, расходы на оплату труда, высокие технические характеристики, простота и безопасность обслуживания, удобство сборки;
- обеспечение удобства изготовления ИДА с минимальным количеством трудовых и материальных затрат в условиях серийного производства;
- соблюдение требований технической эстетики, в первую очередь, красивый внешний вид, сочетание по цветовой гамме составных частей ИДА и в, конечном итоге, высокий экономический эффект от оптимизации вышеперечисленных показателей после внедрения разработки в производство.

Значимость каждого из перечисленных факторов зависит от функционального назначения изделия. Необходимые показатели при создании ИДА – компактность, удобство, простота и безопасность использования, надежность, стабильность работы. Необходимо учитывать эксплуатационные характеристики, область применения, условия эксплуатации, характер использования изделий (многоразовое или одноразовое его применение).

Несмотря на различие задач, решаемых на отдельных этапах конструирования индивидуального дыхательного аппарата и любого другого изделия, начиная с синтеза его общей структуры при разработке технического предложения и кончая изготовлением рабочих чертежей отдельных деталей, имеются общие методы их решения. К таким методам относятся конструктивная преемственность, трансформация и инверсия, эвристика. Эти методы тесно связаны между собой; обычно их используют одновременно на всех стадиях проектирования, применяя ко всем функциональным системам изделия.

*Конструктивная преемственность* при проектировании выражается в использовании всего ранее накопленного опыта. Такой подход оправдан тем, что каждая сборочная единица, как правило, результат творчества нескольких поколений конструкторов, причем в новых конструкциях используют наиболее удачные и прогрессивные решения. По этой причине, например, при выборе общей схемы аппарата техническое задание обычно ориентирует конструктора на определенный отече-

венный или зарубежный прототип (аналог), технические показатели которого находятся на высоком уровне. Конструктивная преемственность предусматривает критический подход проектанта как к техническому заданию, так и к аппаратам-аналогам, рекомендованным в качестве прототипа.

Конструктивная преемственность не является простым или масштабированным переносом той или иной системы конструкции, так как учитывает возможность использования в разрабатываемой конструкции новых, более совершенных технических средств. В большинстве случаев при этом выполняют весь комплекс проектных и проверочных расчетов, определяющих параметры системы, т.е. выполняют параметрический синтез.

На начальных стадиях проектирования особое внимание необходимо уделять выбору структуры и основных параметров проектируемого изделия. Это обусловлено тем, что принятые на стадии проектирования решения в дальнейшем практически определяют все основные свойства изделия. Параметрический синтез должен обеспечивать получение оптимальных параметров новой разработки.

Конструктивная преемственность – это использование при проектировании предшествующего опыта всего полезного, что есть в существующих конструкциях ИДА. Изначально важно изучение исходных материалов при разработке новой конструкции. Основная задача заключается в правильном выборе параметров аппарата. Частные конструктивные ошибки исправимы в процессе изготовления и доводки изделия. Ошибки же в параметрах и в основном замысле не поддаются исправлению и ведут к провалу конструкции. На этом этапе не следует щадить ни времени, ни усилий на изыскания. Необходимо изучить опыт выполненных зарубежных и отечественных образцов, провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков, выбрать правильный аналог и прототип, выяснить тенденции развития в подобных изделиях. Важным условием правильного проектирования является наличие фонда справочного конструктивного материала, а также обязательно систематическое углубленное изучение отечественной и зарубежной литературы и патентов. Все это можно резюмировать одной формулой: при создании нового конструктор должен «смотреть вперед, оглядываться назад и озиаться по сторонам». Направление конструктивной преемственности не означает ограничения творческой инициативы, только не следует изобретать уже изобретенное и помнить правило, сформулированное еще в начале XX века Гюльднером: «меньше изобретать, больше конструировать». Конструктор всегда должен работать над собой, пополнять запас конструктивных решений. Опытный конструктор всегда подметит и мысленно сфотографирует интересные конструктивные решения даже в чужих по профилю аппаратах, в любых попадающих в поле зрения механизмах.

Начальный процесс разработки начинается с компоновки аппарата и зависит от опыта, навыков и способностей конструктора. Основные закономерности: рассмотрение на первых этапах только основных элементов и игнорирование подробностей; рассмотрение нескольких вариантов и выбор наилучшего на основе сопоставления конструктивной, технологической и эксплуатационной целесообразности; параллельные с проектированием ориентировочные расчеты на прочность, жесткость, долговечность; придание технологичности разработки, последовательное проведение унификации и стандартизации; рассмотрение всех элементов на эксплуатационную надежность.

Метод конструкторской преемственности целесообразно использовать вместе с методами трансформации и инверсии, предполагающими преобразование или обращение функций системы или ее элементов.

*Эвристика* – метод генерации идей, в частности, основанный на использовании определенной системы наводящих вопросов. При конструировании эти вопросы могут быть отнесены, например, к обсуждению свойств прототипа создаваемого нового аппарата, его отдельных функциональных систем или элементов и относятся ко всем показателям качества – от показателей назначения, надежности и т.д. до показателей безопасности. Цель такого подхода – побуждение творческой активности конструктора, его эффективное и целенаправленное включение в поиск новых решений. Предполагают, что при использовании этого метода проектант хорошо знаком с техническим заданием на дыхательный аппарат, принципом его действия, конструкцией, расчетной схемой, технической литературой, эксплуатационными данными и пр.

Обсуждают недостатки конструкции прототипа по основным показателям качества и устанавливают пути их улучшения, например, интенсификацией, модификацией, унификацией и т.д. По отношению к изделию в целом и его каждой функциональной системе и элементу исследуют вопрос: каково должно быть воздействие, чтобы улучшился показатель качества проектируемого изделия? К эвристическому методу поиска новых идей относится так называемая *мозговая атака*. Цель мозговой атаки при конструировании – стимулировать быстрое генерирование большого числа новых решений. С этой целью отбирают группу компетентных лиц, перед которым ставят определенную задачу, причем оговаривают, что для решения принимают любые идеи, критика которых запрещается. При проведении сеанса мозговой атаки (длительность около 0,5 ч) идеи высказывают вслух и фиксируют; при этом происходят комбинация, усовершенствование и обогащение высказываемых предположений. Предпочтительно записывать идеи на отдельных карточках, которые впоследствии классифицируют по направлениям, а предложения оцениваются специалистами.

Метод эвристик удобно применять при создании принципиально нового дыхательного аппарата. Здесь выполняют разработку, перебор и оценку ряда вариантов, в которых используют найденные решения. Если число предлагаемых новых решений (факторов решения) значительно, причем они относятся к различным уровням проектируемого объекта (например, несколько вариантов систем поглощения диоксида углерода, систем кондиционирования ГДС.), то общее число вариантов конструкции становится очень большим и для отбора рациональных вариантов следует использовать упорядоченный поиск. Сущность такого поиска близка по сути к задачам дискретной целочисленной оптимизации, как правило, многокритериальной.

Упорядоченный поиск, проведенный в полном объеме, позволяет найти оптимальное решение; обычно в этом случае используют ЭВМ. В простых случаях, при сравнительно малом числе факторов решения, ограничиваются более простыми методами выбора вариантов сочетания новых решений, например, интуитивным или построением дерева решений. В последнем случае, представляющем собой упрощенный способ упорядоченного поиска, указывают варианты объектов выбора по уровням или функциональным группам, дают их сравнительную оценку в баллах и формируют путь через объекты, обеспечивающий наивысшую суммарную оценку. Факторы решения, входящие в этот путь, образуют искомый вариант конструкции.

Компоновку отдельных элементов и систем в корпус аппарата выполняют с использованием блочно-иерархического принципа с переходом от общего к частному. Первоначально, на этапе эскизного проектирования, компонуют основную схему, общую конструкцию аппарата. Разрабатывают несколько компоновочных вариантов, т.е. выбирают и вычерчивают схемное решение дыхательного аппарата, определяют взаимное положение рабочих органов и подсистем, оценивают схему их температурного и механического нагружения, правильность размещения и форм основных элементов системы. Одновременно выполняют основные технологические, тепловые, механические и другие расчеты, которые связаны с выбором форм



и размеров компоновочных элементов аппарата.

Следует заметить, что на стадии эскизного проектирования необязательно детально вычерчивать варианты конструкции, иногда достаточно лишь выполнить начальные наброски для установления бесперспективности дальнейшей разработки варианта.

На этапе технического (рабочего) проектирования уточняют конструкцию каждого элемента системы, полностью разрабатывая варианты с учетом всех требований технического задания. При компоновке и конструировании элементов следует придерживаться предпочтительного ряда унификации нормальных элементов, уделять внимание вопросам удобства сборки-разборки системы, ее элементов и обслуживания, осмотра и регулирования. При этом окончательно решают вопросы выбора конструкционных материалов для основных деталей, продумывают способы повышения их долговечности, защиты от коррозии.

При конструировании аппарата следует предусмотреть возможность последующей ее модернизации, повышения эффективности процесса регенерации и т.п.

Рабочая компоновка – исходный материал для подготовки технического (рабочего) проекта, поэтому необходима постановка основных габаритных, присоединительных, увязочных размеров. При техническом (рабочем) проектировании выполняют все поверочные расчеты, в частности, расчеты на прочность, жесткость, устойчивость и, при необходимости, корректируют размеры. Следует еще раз напомнить, что при окончательной отработке конструкции необходимо учитывать результаты экспериментальных исследований на макетах, моделях и опытных образцах разрабатываемого изделия.

Стадия конструирования в значительной мере определяет технический уровень и совершенство дыхательного аппарата; по этой причине не следует жалеть времени и средств на его глубокую и тщательную проработку проекта.

## 8.8. ПРИЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

На примере изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом, разработанных в ОАО «Корпорация «Росхимзащита», рассмотрим некоторые приемы, непосредственно зависящие от деятельности конструктора. Перед началом разработки ИДА конструктор должен внимательно изучить техническое задание, проработать (освежить в памяти) имеющиеся нормативные документы, проанализировать известные аналоги и научно-техническую и патентную информацию, имеющую отношения к предмету разработки.

### 8.8.1. Подход к обеспечению выполнения показателей назначения

Пути обеспечения выполнения показателей назначения вырабатываются на начальной стадии конструирования – на стадии обоснования выбора варианта схемы аппарата и его устройств по блочно-иерархическому принципу: формируется общая схема аппарата и затем функциональная схема и конструкции функциональных систем, определяющих работу ИДА.

Прежде всего, с учетом назначения аппарата (для проведения аварийных работ или для эвакуации) выбираются наружный вид и упаковка ИДА. Аппараты для проведения аварийных работ комплектуются либо наружным жестким корпусом, на который монтируют составные части, либо сумкой с жестким каркасом, внутри которой расположены другие элементы ИДА. Это необходимо для обеспечения сохранности составных частей ИДА в условиях возможных контактов пользователя с препятствиями (например, при движении в узких проходах) и воздействия поражающих факторов (огонь, искры, тепловой поток, облив химическими веществами и т.д.). Примером первого пути являются жесткие футляры для респираторов на химически связанном кислороде (РХ-90Т, Р-34), примером второго – изолирующий противогаз ИП-4МР для проведения работ в промышленности.

Для самоспасателей важно, предназначены они для постоянного ношения или для размещения на предполагаемых местах эксплуатации. В первом случае рабочие части самоспасателей упакованы в жесткие (металлические или пластмассовые) герметичные футляры для обеспечения сохранности при постоянном ношении, во втором – достаточны коробки (из картона или пластмассы) или мягкая упаковка, в которые помещены рабочие части самоспасателей, уложенные в герметичные пластиковые пакеты. Реально применяется как первая схема упаковок (самоспасатели ШСС-Т, ШСС-1У, ПДУ-3 и т.д.), так и вторая (самоспасатели СПИ-20, СПИ-50, УДС-15, ИПК-1М и др.).

При выборе конструкции ИДА крайне важно учитывать температурные условия эксплуатации. Дело в том, что эксплуатация аппарата с химически связанным кислородом при отрицательных температурах требует применения ряда специфических приемов:

- необходимость разогрева слоя регенеративного продукта в регенеративном патроне в начальный период работы для обеспечения требуемого коэффициента регенерации;
- обязательная подача кислорода в дыхательную систему в начальный период работы ИДА;
- обеспечение защиты патрона от избыточного охлаждения внешней средой;
- обеспечение видимости лицевых частей в условиях отрицательных температур и некоторых других.

Разогрев продукта и подача кислорода обеспечиваются за счет применения пускового брикета во всех типах ИДА, для защиты патрона от охлаждения вводят его теплоизоляцию, а для обеспечения видимости применяют незапотевающие пленки в комплекте с утеплительными манжетами. Чем ниже температура эксплуатации, тем в большей степени должны быть использованы указанные приемы, в частности, должна увеличиваться масса пускового брикета.

Следующий момент при выборе схемного решения – правильный подбор типа лицевой части, зависящий, в первую очередь, от коэффициента токсичной опасности среды и назначения аппарата. При конструировании дыхательного аппарата для проведения аварийных работ, как правило, используют лицевые части (трехростовочные маски, загубник с очками и носовым зажимом) с низким коэффициентом подсоса на уровне  $10^{-4} \dots 10^{-3} \%$ . В средствах для эвакуации применяют тот же загубник (по причине его незначительной массы), одноростовочную маску, колпак с полумаской – для них коэффициент подсоса находится на уровне  $10^{-3} \dots 10^{-2} \%$ .

Важно при выборе лицевой части и контингент пользователя: для профессиональных работников в ИДА используют маски, загубники с носовым зажимом и защитными очками, которые, хотя и обеспечивают высокую степень изоляции от окружающей среды, но требуют специальных тренировок пользователя; для необученных пользователей, как правило, используют колпаки защитные, требующие минимум операций при надевании.

По времени защитного действия, заданном техническим заданием, в первом приближении можно определить массу регенеративного продукта. Так, многочисленные экспериментальные данные показывают, что для самоспасателей при номинальном ВЗД по ГОСТ 12.4.220–2001, равном 15 мин, масса кислородсодержащего продукта должна быть на уровне

300...330 г, при ВЗД, равном 30 мин, – 450...500 г, при ВЗД 60 мин – на уровне 800...900 г, при ВЗД 90 мин – около 1500 г. Как правило, чем больше температурный интервал эксплуатации дыхательного аппарата, тем выше разброс между нижним и верхним пределом по массе продукта.

После изготовления и испытаний макетов ИДА, изготовленных с учетом приведенных соображений, проводится корректировка образца по результатам испытаний.

### 8.8.2. Пути выполнения требований по эргономике. Направления улучшения эргономических характеристик

В настоящее время гарантией удобства, эффективности, повышения потребительской ценности изделия является соблюдение эргономических законов с самого начала разработки. *Эргономика* – это достаточно востребованная наука сегодня при проектировании любых изделий для человека. Ее назначение состоит в гуманизации техники, создании оптимальных условий применения и сглаживания противоречий между запросами человека и возможностями производственного процесса. Данные об эргонометрических параметрах дыхательных аппаратов постоянно обрабатываются на основе сведений отечественной и зарубежной литературы и богатого практического опыта использования эргономики при создании промышленных изделий, уточняются во время консультаций со специалистами – физиологами, психологами и другими, по результатам испытаний и эксплуатации ИДА.

К эргономическим характеристикам относятся *физиологические, психологические, антропометрические и гигиенические* характеристики [1], часть их предусматривается техническим заданием и обязательна к выполнению, другие следует рассматривать как ориентировочные и рекомендуемые. Следует отметить, что преимущество в эргономике рассматривается как одно из важнейших достоинств дыхательного аппарата в конкурентной борьбе на рынке.

Наиболее важными эргономическими характеристиками являются показатели, определяющие комфортность дыхания. К ним относятся: сопротивление дыханию, температура вдыхаемой ГДС, объемная доля диоксида углерода и кислорода во вдыхаемой ГДС. Улучшение этих показателей по сравнению с аналогами рассматривается как одна из основных задач при конструировании ИДА. Вопросы снижения температуры вдыхаемой ГДС подробно рассмотрены в главе 6. Здесь мы остановимся на конструкторских решениях, направленных на *снижение сопротивления дыханию*.

Дыхание в изолирующем аппарате сопровождается преодолением сопротивления входу и выходу элементов аппарата (лицевая часть с гофртрубкой, регенеративный патрон, клапан избыточного давления). Значение уменьшения сопротивления на входе и выходе очевидно – оно облегчает поступление воздуха в легкие и газовый обмен. Испытания ИДА показывают, что уменьшение вентиляции за счет механических причин вызывает больше жалоб и отрицательных субъективных ощущений, чем увеличение объемной доли  $\text{CO}_2$  до 2...3 % во вдыхаемой смеси, и приводит к ощущению недостаточности дыхания.

Задачу снижения сопротивления дыханию ИДА возможно решать несколькими путями: выбором схемы построения аппарата, снижением сопротивления его узлов, использованием элементов, обеспечивающих принудительный поток в дыхательном контуре. Наибольший «вклад» в сопротивление дыханию вносит регенеративный патрон, и снижение его сопротивления является одной из основных задач. Отметим, что в ходе использования ИДА по назначению, особенно при тяжелых нагрузках, происходит спекание и оплавление регенеративного продукта, что ведет к увеличению сопротивления дыханию.

Применительно к снижению сопротивления регенеративного патрона можно отметить следующие моменты:

- сопротивление слоя зернового продукта резко возрастает с уменьшением диаметра зерна и увеличением скорости движения газового потока;
- «развернутая шихта» представляет определенные возможности в повышении эффективности отработки регенеративных продуктов и снижения сопротивления патронов, но удельный расход металла в патронах с «развернутой шихтой» выше, технология изготовления сложнее;
- для снижения сопротивления регенеративного патрона необходим предварительный отдув продукта от пыли перед засыпкой его в патрон и снижение нагрузки, передаваемой на фильтры поджимными пружинами;
- введение в слой продукта металлического сетчатого или штампованного каркаса позволяет уменьшить спекание продукта и снизить сопротивление дыханию на 20...30 %;
- использование регенеративного продукта с регулярной формой насадки (блоки, таблетки) существенно снижает сопротивление дыханию по сравнению с гранулированным продуктом.

Большой интерес в плане получения более комфортных условий дыхания представляют ИДА с отдельной схемой регенерации дыхательной атмосферы с принудительной вентиляцией. В отличие от ИДА, укомплектованных регенеративным патроном, они имеют более низкую температуру вдыхаемого воздуха и сопротивление дыханию. Аппараты, сконструированные по данной схеме, несмотря на несколько худшие показатели по массе и габаритам, имеют в своем составе элемент (эжектор), обеспечивающий принудительный поток, который позволяет получить минимальное сопротивление дыханию. При этом доля тепла, выносимого в дыхательный контур аппарата из генератора кислорода, незначительна по отношению к потоку, проходящему через поглотитель диоксида углерода, а температура воздуха за поглотителем значительно ниже, чем при работе регенеративного продукта.

Например, известен изолирующий дыхательный аппарат (патент России № 2166339), сконструированный по схеме отдельной регенерации, и состоящий из:

- лицевой части, связанной с патрубками выдоха и вдоха;
- емкостей выдоха и вдоха;
- генератора кислорода с ТИКом и эжектором;
- поглотительного патрона.

Производительность эжектора и объем емкостей выдоха и вдоха подобраны таким образом, что даже при большой легкой вентиляции при выполнении потребителем тяжелой работы исключена возможность попадания на вдох воздушной смеси, не прошедшей очистку в поглотительном патроне. Размещение генератора кислорода в корпусе поглотительного патрона в непосредственном контакте с поглотителем диоксида углерода и организация движения потока кислорода таким образом, что он омывает слой поглотителя и тем самым прогревает его, обеспечивает поглощение диоксида углерода и работоспособность аппарата даже при температуре минус 40 °С.

В аппарате (патент России № 2172192) практически реализованы:

- низкое сопротивление входу и выходу при выполнении работ различной степени тяжести за счет принудительной вентиляции;
- низкое процентное содержание диоксида углерода во вдыхаемой ГДС за счет прохождения всей выдыхаемой воз-

душной смеси через поглотительный патрон и практически полного отсутствия вредного пространства в аппарате;

– низкая температура вдыхаемой ГДС за счет наличия емкостей вдоха и выдоха, с поверхностей которых происходит основной съем тепла.

*Снижение объемной доли диоксида углерода во вдыхаемой ГДС*, как правило, достигается за счет использования регенеративного продукта с высокой динамической активностью. Что касается обеспечения *оптимальной объемной доли кислорода в ГДС*, то возможными способами являются снижение коэффициента регенеративных кислородсодержащих продуктов и конструирование ИДА по схеме сбалансированной регенерации (гл. 9).

В ИДА необходимо улучшение также и других эргонометрических параметров, основным из которых является снижение механического давления на мягкие ткани головы и массы. Первое реализуется в мягких конструкциях колпаков, широко применяемых в конструировании самоспасателей. Здесь мы более подробно остановимся на приемах снижения массы и связанной с этим уменьшения металлоемкости конструкции ИДА.

Обеспечение минимальной массы при проектировании ИДА имеет крайне важно, так как масса дыхательного аппарата существенно влияет на удобство пользования человеком индивидуальным средством защиты. Понятия и расчеты рационального сечения, прочности и жесткости профилей, равнопрочности, облегчение деталей, рассматриваются подробно в справочнике [12]. В патронах ИДА действенным средством уменьшения массы и одновременно повышения прочности является применение листовых штампованных конструкций, основные детали – корпуса, крышки, решетки, штуцера, обоймы изготовляют штамповкой, что уменьшает их стоимость. Пониженную прочность и жесткость тонколистовых конструкций компенсируют приданием сводчатых форм, выдавливанием рельефов, отбортовкой, приваркой профилей жесткости. Штампованные фасонные детали, накатанная резьба обладают повышенной прочностью. Необходимо учитывать деформации, вызываемые рабочими нагрузками, и деформации, возникающие при сварке, механической обработке, соединении и затяжке сборных элементов. При холодном штамповании рельефам рекомендуется придавать высоту не более  $(3...5)s$ , где  $s$  – толщина материала. Помимо прочности и жесткости увеличивают прочность рельефы, выбиваемой в холодную. Рельефные валики следует располагать вдоль плоскости действия изгибающего момента. Обратное расположение не увеличивает жесткости, а напротив, делает деталь более податливой. Для увеличения местной жесткости, уменьшения концентрации напряжений и повышения прочности, сниженной воздействием вырубного инструмента, кромки отверстий усиливают отбортовкой, подбивкой кромок, обжимом кромок, введением усиливающих накладок. Требования к шероховатости поверхности определяются условиями работы деталей. Для уменьшения стоимости изготовления рекомендуется применять менее высокие требования к шероховатости, совместимые с условиями надежной работы изделия в целом. Рекомендации и указания по подбору параметров шероховатости и применения ГОСТ даются в справочнике [12].

Применяемая для деталей упрочняющая термическая обработка (закалка с отпуском) обеспечивает наиболее благоприятное сочетание прочности, вязкости и пластичности. Пользуются этим в основном для упругих элементов деталей, пружин.

Одним из прогрессивных направлений для снижения массы является замена металлических элементов на пластмассовые. Пластики используются в корпусных деталях, прочность таких конструкций выдерживает сравнение с металлическими конструкциями, недостаточную жесткость компенсируют увеличением толщин и сечений. Изготовление деталей из пластмасс возможно прессованием, литьем под давлением, экструзией, формованием стеклопластов, сваркой пластмасс. При конструировании из пластмасс следует компенсировать пониженную жесткость материала введением на свободных стенках ребер жесткости, приданием детали жестких сводчатых, коробчатых форм. При эксплуатации с нагреванием сводчатые формы способствуют уменьшению напряжений, вызываемых тепловым расширением и достигающих больших размеров.

### **8.8.3. Пути достижения показателей надежности**

Показатели надежности характеризуют свойство дыхательных аппаратов сохранять свои основные показатели назначения и эргономические характеристики в процессе изготовления, транспортировки и эксплуатации. В этих процессах ИДА подвергаются различным воздействиям, после которых они должны быть работоспособны. Обобщенными характеристиками надежности для ИДА являются гарантийные сроки хранения и эксплуатации, а также вероятность безотказной работы, регламентируемые в технических условиях на аппарат.

Надежность работы изделия, правильность его эксплуатации определяется конструктивными решениями, заложенными на стадии проектирования. Необходимо обеспечить надежную работу даже в условиях недостаточно квалифицированного обслуживания. Если изделие «ломается», портится в неумелых руках, это значит, что конструкция недостаточно продумана в отношении ее надежности. В комплексе мер по обеспечению эксплуатационной надежности, большую роль играет защита от случайных запусков ИДА. Это решается установлением рычажных, капсульных механизмов пусковых устройств на патронах, штуцерах на пусковые ампулы, колпачков на пусковых устройствах с пальцевым запуском, защищающих легкий доступ к месту запуска.

Высокой надежности в изделиях можно достичь только комплексом конструктивных, технологических и производственных мероприятий. Непременным условием выпуска качественной продукции является прогрессивная технология изготовления, высокая культура производства, строгое соблюдение технологического режима и тщательный контроль изделия на всех стадиях изготовления, начиная с операций изготовления деталей и кончая сборкой изделия (конструктор должен предусмотреть все стадии проверок в технических требованиях на чертежах).

Наибольшую трудность представляет объективная оценка показателей надежности в эксплуатации. Эти показатели можно выяснить только через длительный промежуток времени и на продукции, вышедшей далеко за пределы предприятия-изготовителя и разбросанной в различных, порой отдаленных местах эксплуатации. В этих условиях важное значение приобретают методы ускоренных испытаний. На предприятии-разработчике широко применяется метод моделирования эксплуатационных условий, заключающийся в стендовых или эксплуатационных испытаниях на форсированном режиме в условиях заведомо более тяжелых, чем заданные (используются наработанные методики предприятия). Например, ускоренные климатические испытания, как правило, проводятся на стадии разработки, по результатам их испытаний определяется ориентировочный срок хранения и эксплуатации изделий.

Для обеспечения надежного функционирования аппарата в нужный момент необходимо предусмотреть его защиту от воздействующих факторов. Так, при хранении и ношении ИДА чрезвычайно важно обеспечить герметичность аппарата, его стойкость к климатическим и механическим воздействиям, а в ходе использования по назначению – стойкость к нагреву регенеративного патрона ИДА.

При конструировании ИДА конструктор должен предусмотреть и гарантию качества на весь указанный срок годности, один из основных приемов этого – герметичностью рабочей части и изделия в целом. Внутренние детали заключены в закрытые корпуса и надежно защищены от пыли, грязи и атмосферной влаги. Наилучшим решением являются надежно загерметизированные системы дыхания. Методы проверки герметичности обычно описываются в отраслевых стандартах пред-

приятия (методические инструкции, технические регламенты и т.д.). Добиться герметичности можно, выполняя определенные требования по конструированию, используя принципы уплотнения неподвижных соединений, описываемых в справочной литературе [12]. Здесь имеются в виду как резьбовые (разъемные) соединения, так и сварные (неразъемные) соединения, а также соединения с установкой резиновых и полимерных прокладок между корпусными деталями аппаратов.

Не менее важно обеспечение стойкости ИДА к климатическим и механическим воздействиям. Наружные детали изделий обычно подвержены химическому (коррозионному) износу, обусловленному климатическими факторами. В конструкции изделия, особенно поверхностей работающих на открытом воздухе, в условиях повышенной влажности или в химически активных средах, следует предусматривать эффективные защитные покрытия, например, гальванические покрытия (хромирование, никелирование, омеднение), осаждение химических пленок (фосфатирование, оксидирование), нанесение полимерных пленок. Для самоспасателей наилучшим решением является применение коррозионно-стойких сталей и футляров из пластмассы. Целесообразно изготавливать из химически стойких пластиков (полиолефины, фторопласты) также и малонагруженные детали, соприкасающиеся с химически активными компонентами. Простым и дешевым способом защиты металлических корпусных деталей являются лакокрасочные покрытия.

Исходя из условий эксплуатации, которые указываются в техническом задании для проектирования изделия, конструктор подбирает вид и обозначение материала покрытия по ГОСТ 9825. При этом обязательно использование следующих стандартов: ГОСТ 9.104 «Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации»; ГОСТ 9.032 «Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначение»; ГОСТ 15150–69 «Исполнения для различных климатических районов».

Для обеспечения стойкости ИДА к механическим воздействиям (ударам, транспортным нагрузкам, вибрации и др.), как правило, используют приемы амортизации изделий или их составных частей. Так, при упаковке аппаратов в транспортную тару они зажимаются прокладками из гофрокартона и пеноматериалов. Для устранения разрушения регенеративного продукта при вибрационных нагрузках и транспортировании, его поджимают в регенеративном патроне подвижным дном с пружинами.

Для обеспечения герметичности рабочей части ИДА при использовании по назначению необходимо учитывать, что большинство узлов ИДА с химически связанным кислородом работают в условиях высоких температур, когда прочность материалов резко снижается. При повышенных температурах возникает явление ползучести (пластическое течение материала), приводящее к изменению первоначальных размеров детали и, как следствие, к утрате работоспособности аппарата в целом. В первую очередь, следует обратить внимание на резиновые детали: присоединительные фланцы на мешках, прокладки для герметизации в патронах, гофрированные трубки, дыхательные мешки, амортизаторы и др. Для производства резиновых деталей используют резиновые смеси, которые подбираются конструктором по эксплуатационным характеристикам для формованных деталей. В связи с повышенными специфическими требованиями, предъявляемыми к резиновым деталям, необходимо пользоваться специальной справочной литературой, учитывая химические и физические свойства, способ и область применения, методы изготовления, санитарно-гигиенические нормы и др.

Другой тип применяемых резин – это пластины, которые, в основном, используются для изготовления различных типов прокладок. В зависимости от назначения прокладки в составе изделия подбирается марка резины. В ряде случаев выбирают теплоустойчивые резины, способные выдерживать высокие контактные температуры и при этом не выделять вредных для дыхания веществ, которые могут попасть в ГДС, поступающую на вдох при работе ИДА.

Деталям, работающим при высоких температурах, можно увеличить срок службы рациональным охлаждением, отдалением их от источника высокой температуры, применением материалов с низкой теплопроводностью.

Надежность ИДА определяется также прочностью и жесткостью конструкции. Рациональными способами повышения прочности, не требующими увеличения массы, являются: применение выгодных профилей и форм – круглые сечения трубок, обтекаемые формы корпусов, максимальное использование прочности материала, по возможности равномерная нагрузка на все элементы конструкции.

В целях создания надежных изделий необходимо тщательно изучать опыт эксплуатации дыхательных аппаратов. Работа конструктора не заканчивается приемочными испытаниями опытного образца и сдачей в серийное производство. По существу доводка начинается после ввода в эксплуатацию, что и позволяет обнаружить слабые места конструкции. При изучении дефектов следует отделять случайные дефекты и систематические. Случайные дефекты обычно обусловлены недостаточной технологической дисциплиной и контролем. Систематические дефекты показывают неудовлетворительность конструкции и требуют ее изменения. Доводка изделий должна быть включена в план работ конструктора наряду с проектированием и составлять значительную часть времени работы конструктора. Иначе конструктор не сможет совершенствоваться и никогда не достигнет вершин конструкторского мастерства.

#### **8.8.4. Пути улучшения экономических показателей**

Снижение затрат на разработку, подготовку производства и уменьшение себестоимости ИДА становится наиважнейшей задачей в условиях конкуренции на рынке. Основная роль в снижении этих затрат принадлежит конструкторам. Существует закон 1 : 10 : 100, или «ошибка конструктора при разработке изделий стоимостью в один рубль ведет к затратам на устранение этой ошибки на стадии подготовки производства в 10 рублей, а на стадии серийного производства – в 100 рублей».

Экономический фактор играет первостепенную роль в конструировании. Частности не должны заслонять основной цели конструирования – увеличения экономического эффекта изделий. Многие считают, что экономически конструировать – значит уменьшать стоимость изготовления, избегать сложных и дорогих решений, применять наиболее дешевые материалы и наиболее простые способы обработки. Это лишь часть задачи. Главное значение имеет то, что экономический эффект определяется полезной отдачей изделий, а стоимость является только одной, не всегда главной, а иногда и очень незначительной составляющей этой суммы.

Экономически направленное конструирование должно стремиться не столько к удешевлению продукции и экономии, сколько к поиску гораздо более эффективных путей повышения экономичности.

Проектируя, необходимо думать о долговечности деталей, выбирая их форму, размеры и методы обработки по сложившимся в данной отрасли традициям и нормативам, которые в свете новых представлений о значении долговечности нуждаются в пересмотре. В большинстве случаев достаточно поставить себе четкую задачу и применить общие приемы рационального конструирования для того, чтобы еще на стадии разработки и проектирования решить проблемы долговечности, которые затем уже в готовой конструкции не пришлось бы устранять в порядке доводки, с большими затратами и с исполь-

зованием преимущественно технологических способов. Не следует скупиться и на исследовательские работы по изысканию новых материалов и технологических приемов.

С развитием науки и техники идет процесс так называемого технического устаревания. Безусловное устаревание наступает в двух случаях: при переходе на новую продукцию, сопровождающуюся полной заменой технологического процесса, и при появлении принципиально новых конструктивных схем, по показателям превосходящих старые образцы.

Большой экономический эффект дают унификация и стандартизация деталей, сборок. Стандартизация ускоряет проектирование, облегчает изготовление и повышает надежность проектируемых изделий.

Унификация конструктивных элементов позволяет сократить номенклатуру обрабатываемого, мерительного и монтажного инструмента. Унификация оригинальных деталей и узлов может быть внутренней (в пределах данного изделия) и внешней (заимствование деталей из других изделий и изделий смежного предприятия). Наибольший экономический эффект дает использование деталей в больших количествах, получаемых в готовом виде.

Унификация марок и сортамента материалов, стандартных изделий облегчает снабжение ими изготовителя.

Нельзя пренебрежительно относиться к стандартам. Стандартизация является существенным фактором снижения себестоимости и ускорения проектирования, также высокое качество стандартов и их непрерывное совершенствование повышает уровень проектирования. Применение стандартов не должно стеснять творческую инициативу и препятствовать поискам новых, более рациональных конструктивных решений, если эти решения имеют явное преимущество.

Так, в дыхательных аппаратах, разработанных ОАО «Корпорация «Росхимзащита», широко используются унифицированные металлические детали, изготовленные методом штамповки: гайка накидная, ниппель, патрубок, пряжка затягивающая, обтекатель, горловина.

Унификация является эффективным и экономичным способом создания на исходной модели ряда производных аппаратов одинакового назначения, но с различным ВЗД. Таким примером при разработке дыхательных аппаратов могут служить изделия, имеющие одни и те же сборочные единицы (регенеративные патроны самоспасателей СПИ-20 и ПДУ-3 или ШСС-Т, СПИ-50 и ПДА-3М; защитные колпаки СПИ-20 и СПИ-50; дыхательные мешки самоспасателей ШСС-Т и СПИ-50 или СПИ-20 и ПДУ-3; теплообменники СПИ-20 и СПИ-50 и т.д.). Возможна также унификация по форме и отдельным деталям регенеративных патронов (ИПК-1М и ПДУ-3), по клапану избыточного давления (ПДУ-3, СПИ-20, ШСС-Т, УДС-15 и т.д.).

Для модифицирования (переделке) изделия с целью приспособить его к иным условиям работы – в различных климатических условиях (например, в тропическом исполнении или в областях с суровым климатом) или в условия более жестких воздействий, часто обходятся заменой материалов.

Всегда нужно помнить о снижении себестоимости изделия – это задача комплексная и включает в себя производственную и конструкторскую работу. Основную роль играет рационализация производства, проектируемое изделие должно иметь высокий потенциал развития, необходимо создать конструкцию, обладающую широкой применимостью и ресурсами совершенствования. Большое значение имеет уменьшение числа типоразмеров рациональным выбором формы и параметров ИДА и его составляющих. Это повышает объем выпуска конкретного типоразмера при серийном производстве с выигрышем в стоимости изготовления и тоже является задачей конструктора. Не менее 50 % применяемых деталей в существующих ИДА обладают этими качествами.

Важно обеспечить технологичность конструкции, т.е. наиболее экономичное производственное изготовление с применением прогрессивных методов обработки, с повышением качества, точности и взаимозаменяемости составляющих, а также технологичность сборки.

## 8.9. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Важнейшим средством повышения эффективности и качества вновь разрабатываемого аппарата является использование *систем автоматизированного проектирования* (САПР). Применение САПР рационально при проектировании сложных технических объектов, которыми, в частности, являются ИДА и их составные части. Сущность этого метода проектирования заключается в избавлении проектировщика от рутинных задач и механических однотипных манипуляций, сосредоточении его на творческих задачах. Использование вычислительной техники резко сокращает затраты времени на сбор исходной информации и позволяет проводить параметрический и структурный синтез с высокой надежностью и точностью, поскольку можно отказаться от упрощений, вводимых при традиционных методах расчета. В САПР каждую задачу проектирования решают как оптимизационную, т.е. находят такие параметры разрабатываемого изделия, которые соответствуют наивыгоднейшему значению критерия оптимальности.

В ряде случаев нельзя ограничиться оптимизацией по одному критерию, а необходимо учитывать несколько противоречивых критериев качества. В этом случае необходимо выделить несущественные критерии и параметры, а из существенных сформировать интегральные критерии и определить оптимальные параметры проектируемой системы на допустимом множестве решений. Блочная-модульная система позволяет наращивать, развивать и совершенствовать систему проектирования.

Приведем краткую информацию по известным системам автоматического проектирования.

### 8.9.1. SolidWorks

*SolidWorks* – система автоматизированного проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения. *SolidWorks* является ядром интегрированного комплекса автоматизации предприятия, с помощью которого осуществляется поддержка жизненного цикла изделия в соответствии с концепцией CALS-технологий. Интуитивно понятный интерфейс, обеспечивающий двунаправленный обмен данными с другими.

Комплексное решение, ядром которого является САПР *SolidWorks*, и специализированные задачи решаются прикладными модулями, работающими на уровне единой информационной модели. Строится системный подход к внедрению, когда предприятие рассматривается как единое целое. Оснащение производится в рамках сквозной концепции автоматизации, благодаря чему достигается высокая эффективность работы системы при минимуме финансовых затрат на внедрение.

В зависимости от класса решаемых задач заказчикам предлагается три базовые конфигурации системы: *SolidWorks*, *SolidWorks Professional* и *SolidWorks Premium*. Система решает следующие задачи: гибридное параметрическое моделирование, проектирование деталей, сборок и изделий с учетом специфики изготовления (листовой материал, пресс-формы и штампы, сварные конструкции), экспресс-анализ (массово-инерционные характеристики, анализ прочности и кинематики), оформление чертежей по ЕСКД. В базовую поставку *SolidWorks* включены: библиотека проектирования (стандартные отверстия, детали и узлы), интерфейс прикладного программирования, полный набор трансляторов обмена данными с другими

системами (IGES, VDAFS, STEP, Parasolid, ACIS, STL, VRML, DXF, DWG, Pro/E, CADKEY, Unigraphics, Solid Edge, Inventor, AutoCAD, MDT, PDF, IDF – данные из P-CAD, Orcad, Protel и т.п.).

Большой спектр специализированных модулей SolidWorks расширяет базовую конфигурацию системы и обеспечивает решение прикладных задач в областях CAD/CAM/CAE/PDM.

Система относится к САПР «среднего класса». В отличие от «тяжелых» САПР (Unigraphics NX, Pro/Engineer, CATIA), разработанных для Unix-платформ, SolidWorks изначально создавалась для работы на персональных компьютерах в системе Microsoft Windows. SolidWorks имеет стандартный графический пользовательский интерфейс Windows, максимально использует все преимущества системы Microsoft Windows, такие как контекстные меню, режим copy-and-paste, режим drag-and-drop, быстрый просмотр, поиск и открытие файлов с помощью проводника, возможность «отката» и др. Кроме того, SolidWorks эффективно взаимодействует с такими Windows-приложениями, как Excel, Word и др. Очевидными достоинствами системы являются ее полная русификация и поддержка ЕСКД, что выгодно отличает SolidWorks от других зарубежных САПР. В системе SolidWorks поддерживаются все основные стандарты представления и обмена данными. В состав базового пакета SolidWorks входит более 20 трансляторов для экспорта и импорта.

### 8.9.2. Pro/ENGINEER

*Pro/ENGINEER* – это разработанная впервые в мировой практике CAD/CAM система, полностью интегрированная с системой PDM. Pro/ENGINEER обеспечивает высокую надежность процессов проектирования, поддерживая работу конструктора с актуальными версиями документов. Она реализует также простой доступ конструктора к информационным ресурсам сети предприятия напрямую из сеанса CAD/CAM. Теперь система Pro/ENGINEER, разработанная в рамках проекта Wildfire, обеспечивает работу конструктора одновременно в системе автоматизации проектирования (CAD/CAM) и системе управления инженерными данными и спецификациями (PDM). Таким образом, пользователи Pro/ENGINEER получили возможность быстро и эффективно организовать совместную работу исполнителей, обеспечивая контроль над процессом разработки.

Pro/ENGINEER как среда разработки обладает возможностью параллельной разработки изделия. Многочисленный набор программных решений позволяет выбрать необходимую конфигурацию каждого рабочего места в соответствии с его функциональностью. Сюда включаются возможности промышленного дизайна, проектирования механических конструкций, в том числе управление большими сборками, имитации функциональности изделия, изготовления и управления инженерными данными. На сегодняшний день решения Pro/ENGINEER обеспечивают наиболее всестороннюю, интегрированную среду разработки продукта.

Все программные решения в Pro/ENGINEER полностью ассоциативны. Это означает, что изменение, внесенное в любой момент разработки, переносится на все этапы проектирования, автоматически обновляя все инженерные решения, включая сборки, чертежи и данные для изготовления. Ассоциативность делает возможной параллельную разработку, поддерживая внесение изменений – без риска – в любой момент проектирования, и обеспечивает, таким образом, возможность использования инженерных знаний и опыта на ранних этапах разработки.

Решения в Pro/ENGINEER используют «конструктивно-технологические элементы» (фичерсы) в качестве составляющих элементов геометрической модели продукта. Фичерсы представляют собой конкретные одиночные или составные конструктивные геометрические объекты, которые содержат информацию о своем составе и могут быть легко изменяемы. К таким конструктивным элементам относятся фаски, ребра, радиусы скругления, оболочки и т.д.

Для быстрого выхода продукта на рынок требуется сокращение времени проектирования. Чтобы достигнуть этого, работа над продуктом должна осуществляться одновременно несколькими инженерными командами параллельно. Решения для управления данными в Pro/ENGINEER были специально разработаны для управления проектами, требующими одновременного доступа, характерного для параллельной разработки, что обеспечивается благодаря полной ассоциативности Pro/ENGINEER.

На сегодняшний день компании обеспечивают огромный рост производительности и уменьшение стоимости продукта, используя стандартные и типовые решения как основу для разработки новых продуктов. Этот подход, известный как Повторное Использование Инженерных Данных (Engineering Data Reuse – EDR), позволяет быстро создавать целые семейства изделий. Архитектура, лежащая в основе Pro/ENGINEER, позволяет легко использовать метод EDR. Эффективность первоначальных инвестиций в проектирование увеличивается с каждым новым поколением продуктов.

Pro/ENGINEER предлагает прогрессивные, значительно повышающие продуктивность работы конструктора технологии моделирования и редактирования геометрии, а также аппарат создания фотореалистичных изображений высочайшего качества. Среди них – создание трехмерных макетов в виде "облака точек", динамическая деформация трехмерной модели и многие другие.

### 8.9.3. Solid Edge

*Solid Edge* – это высокоэффективный продукт компании UGS, который превращает идеи производителей в реальные изделия, экономя средства, сокращая сроки разработки, повышая качество за счет снижения количества ошибок и упрощая работу над сложными проектами. Заложенные в Solid Edge гибкие и масштабируемые возможности управления процессом проектирования позволяют пользователям создавать конкурентоспособные товары. Solid Edge разработан таким образом, что его возможности растут по мере роста потребностей пользователя.

Solid Edge – передовая машиностроительная система проектирования с исключительными инструментальными средствами для создания и цифровых прототипов и управления ими. Средства твердотельного моделирования Solid Edge позволяют коллективам разработчиков легко и удобно создавать изделия, состоящие из многих тысяч компонентов. Специализированные среды разработки – это решения для узких задач, работающие совместно с универсальными средствами, позволяют решить задачи по проектированию конструкций из прокатного профиля, моделированию трубопроводов, электропроводки, анализа и многое другое. Solid Edge является ядром, объединяющим множество инструментов, настроенных на решение специальных задач.

Solid Edge использует высокоэффективное ядро моделирования и уникальную организацию рабочих процессов, которые помогают инженерам моделировать детали более быстро, чем в других системах CAD. Высокоэффективные инструменты параметрического моделирования позволяют конструкторам быстро создавать базовые формы и легко добавлять основные конструктивные элементы типа отверстий, скруглений и фасок, а также более сложную геометрию, включая уклоны,

объекты по сечениям и спирали.

Solid Edge повышает производительность при создании сложной геометрии, благодаря исключительной технологии Rapid Blue. Технология Rapid Blue позволяет получить ту форму, которая вам нужна, а не ту, которую система CAD может дать. Формообразующие кривые сохраняют оригинальную форму даже после ряда сложных изменений. Инструмент редактирования общих точек обеспечивает высочайшую свободу управления для оценки и манипулирования формами в реальном времени. Дополняемая различными новыми инструментами для создания форм и динамического редактирования, ориентированными на специфические процессы, технология Rapid Blue разрушает барьеры традиционного поэтапного моделирования поверхностей. Используя значительно меньше шагов для создания и редактирования сложных поверхностей, вы можете исследовать больше альтернатив в реальном времени и получить нужный результат.

Листовые детали являются изюминкой моделирования в Solid Edge и поддерживают весь процесс от разработки до изготовления. От команд моделирования, специально ориентированных на особенности листовых деталей, и до разверток и создания чертежей, Solid Edge предлагает наиболее развитые средства моделирования листовых деталей.

Solid Edge легко справляется с большими сборками, из которых состоит большинство изделий машиностроения. Упрощенное представление деталей, а также инструменты отображения и выбора делают простой и удобной работу со сборками, содержащими тысячи компонентов. Solid Edge позволяет распределить задачи между членами команды конструкторов, а Insight или TeamCenter Express управляет внесением изменений и обеспечивает своевременное и качественное изготовление разрабатываемого изделия.

#### 8.9.4. Unigraphics NX

*Unigraphics NX* – одна из лучших систем твердотельного трехмерного моделирования, базирующаяся на ядре PARASOLID, включает в себя весь комплекс конструкторско-технологических модулей.

Unigraphics NX представляет собой пакет твердотельного гибридного моделирования, который дает пользователю полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью или каркасной моделью, основанный на полностью ассоциативном, параметрическом дереве построения.

Программный комплекс имеет мощные возможности по созданию и управлению крупными сборками, содержащими десятки и сотни тысяч компонентов. С их помощью можно построить полную электронную модель таких сложных изделий как автомобиль, самолет или авиационный двигатель.

В программный комплекс входят модули высокоскоростной технологической обработки для любых типов оборудования, показывающие свою высокую эффективность в реальных условиях производства.

Модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решателях таких известных пакетов, как MSC.Nastran, MSC.Adams, позволяют проводить оценку различных сценариев поведения разрабатываемых конструкций, а также исследование таких типов задач, как линейная статистика, равновесная теплопередача, потеря устойчивости, анализ собственных частот, кинематический анализ и симуляция практически любого трехмерного механизма и т.д. К большинству популярных пакетов инженерного анализа имеются прямые интерфейсы.

Unigraphics NX позволяет компаниям использовать все свои «ноу-хау», причем делать это не однократно в процессе создания какого-либо изделия, а заложить знания в систему. Ясно, что такая автоматизация процесса позволит не только существенно увеличить производительность работы компании и повысить качество, но и позволит сохранить ваши знания и передать их следующему поколению инженеров компании. Эти знания играют важную роль в конкурентной борьбе компании.

Unigraphics NX позволяет создавать интеллектуальные модели, т.е. такие модели, которые несут на себе не только геометрическую точность, но и технологическую и конструкторскую информацию, которые способны адекватно реагировать на изменения требования к конструкции, что гарантирует сохранение и эффективное использование ключевых проектных решений.

В создании изделия обычно вовлечено большое количество людей из различных компаний и находящихся далеко друг от друга. Своевременное подключение к работе всех участников проекта помогает не только уменьшить время, затрачиваемое на создание изделия, но и позволяет свести до минимума изменения, вносимые в конструкции, практически исключить ошибки и улучшить качество. Компании, использующие технологии интеграции и взаимодействия, могут сосредоточиться на самом процессе создания изделия. Каждая из них, применяя свои знания и опыт, занимается своей частью, при этом между ними происходит непрерывный обмен информацией. Такой процесс позволяет не только улучшить качество изделия, но и существенно сократить время. Эффективное взаимодействие позволяет каждому подразделению вносить изменения в конструкцию одновременно, а не последовательно.

Технология взаимодействия встроена в Unigraphics NX. Она дает возможность проектирования и обмена данными в режиме реального времени для нескольких пользователей, работающих далеко друг от друга. Они одновременно видят на своих мониторах изменения, которые вносят в конструкцию в ходе живого обсуждения. Параметрические изменения, описания видов и добавление текстовых замечаний может выполнить любой из пользователей, вовлеченных в сеанс работы. Компания UGS является лидером в области методов координации и сотрудничества. Заказчики Unigraphics NX имеют реальные преимущества, получая интегрированные в систему и легко настраиваемые технологии, поддерживающие простоту доступа к разнообразной информации.

Unigraphics NX обладает технологиями, которые дают возможность полностью изменить методологический подход к процессу проектирования, сделав его существенно параллельными с сохранением основных связей между этапами, дающими быстро вносить и отслеживать изменения на всех этапах изготовления изделия.

Конструктор может работать в контексте сборки без всяких ограничений на размерность. При этом сохраняется ассоциативность и обеспечивается построение полного цифрового макета изделия любой сложности.

Unigraphics NX обладает набором инструментов для анализа в среде сборки, которые помогают улучшить качество конструкции, выявить и устранить проблемы в самом начале. Контроль пересечений и зазоров помогает предотвратить проблему уже в тот момент, когда компонент размещается в сборке. В результате вы создаете правильную модель или сборку с первого раза, не тратя время на исправление ошибок.

Unigraphics NX предлагает заказчикам уникальные решения, которые дают возможность провести цифровое моделирование различных физических процессов. Цифровое моделирование сложных физических процессов дает очень большой экономический эффект при проектировании самолетов, автомобилей, двигателей и других сложных машиностроительных изделий.

Более полную информацию о вышеуказанных программах и компаниях, занимающихся внедрением этих программ, можно почерпнуть в Интернете.

## 8.10. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Рассмотрим основные технологические процессы, используемые при изготовлении дыхательных аппаратов, на примере производства ИДА в ОАО «Корпорация «Росхимзащита». ИДА представляют собой достаточно сложные технологические системы, включающие в себя следующие основные составные части:

- лицевая часть;
- регенеративный патрон;
- соединительные шланги;
- дыхательный мешок с клапаном избыточного давления;
- наружный футляр (корпус) или сумка;
- теплообменник (холодильник).

ИДА, его комплектующие и материалы изготавливают на специализированных предприятиях по определенной технологии (технологическому процессу сборки). Технология – это сочетание квалификационных навыков, оборудования, инструментов и соответствующих технических знаний, необходимых для осуществления желаемых преобразований в материалах, информации или людях. Технологический процесс сборки – это совокупность операций по соединению деталей в определенной технической и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью отвечающих установленным для них требованиям.

ИДА можно также рассортировать не только по составным частям, но и по материалам, из которых изготавливаются составные единицы и детали. В общем случае это:

- металлические детали;
- резиновые и резино-технические комплектующие;
- пластмассовые детали и сборочные единицы;
- химические материалы;
- шитые комплектующие и сборочные единицы.

Такое деление позволяет систематизировать типовые технологические процессы, согласно которым изготавливаются комплектующие и сборочные единицы.

К основным *металлическим деталям*, применяемым в конструкциях современных ИДА, относятся корпус и крышка футляра (для респираторов и самоспасателей) и металлические детали регенеративного патрона (обечайка, нижняя и верхняя крышки, перфорированные сетки, обоймы, пружины и т.д.). Для изготовления металлических деталей применяются процессы холодной штамповки и прессования.

Металлические материалы подаются на участок обработки металла, где листы режутся на полосы или заготовки гильотинными ножницами НВ-474, затем штамповкой на прессе КБ-2326 вырубается детали.

Для изготовления деталей и сборок (корпуса, крышек патрона, гаек, штуцеров и т.п.) выполняют следующие операции: вытяжку на прессе КБ-2326, формовку на прессе КД-2122 (изготовление зигов, рисунков), на вальцах трехвалковых делают вальцовку для придания детали цилиндрической формы.

Подготовленные детали и сборки сначала прихватывают в нескольких точках точечной сваркой МТ-1613, а затем скрепляют шовной сваркой МШ-1601. Выпуски металла на сварном шве и торцы зачищают на станке для зачистки.

В процессе изготовления металлических деталей пооперационно осуществляют контроль размеров. Контроль герметичности металлических сборок производят погружением деталей в водный раствор с подачей внешнего давления (согласно техническим требованиям чертежа).

Металлические детали, принятые ОТК, передаются на гальванический участок. Металлические детали и сборки, применяемые при производстве ИДА, должны пройти подготовку поверхности – это является важной операцией перед нанесением металлических покрытий. Для того чтобы обеспечить прочное сцепление между гальваническими покрытиями и изделиями, их тщательно обезжиривают. Обезжиривание также необходимо для того, чтобы не допустить попадание органических соединений внутрь изделия, что может привести к возгоранию изделия при засыпке регенеративного продукта внутрь патрона.

При производстве ИДА применяют покрытия: цинкование, электрополирование, окрашивание. Оцинкованное покрытие хорошо защищает стальные детали от коррозии. Электрополирование применяется с целью декоративной отделки поверхности, наряду с этим повышается сопротивление коррозии и износу. Окрашивание необходимо для защиты поверхности в целях предотвращения коррозионных процессов и для декоративной отделки поверхности.

К основным *резиновым и резино-техническим комплектующим и материалам*, применяемым в ИДА, относятся:

- лицевые части (маски, колпаки защитные, загубник с очками и носовым зажимом);
- соединительные гофрированные трубки;
- дыхательные мешки;
- прорезиненные ткани, используемые для изготовления колпаков защитных, теплоизоляторов и т.д.;
- диафрагмы для пусковых ампул;
- герметизирующие прокладки.

Технологический процесс *изготовления лицевых частей* в общем случае состоит из следующих операций:

- *изготовление резиновой смеси в резиносмесителях* – машинах, в которых смешение каучука с ингредиентами производится в закрытой камере;
- *каландрование резиновой смеси* – получение резиновых полос или листов заданных размеров по толщине, ширине и длине;
- *вырубка* заготовок;
- *вулканизация* корпусов, подмасочников, наголовников, колец прокладочных и других деталей на гидравлических вулканизационных прессах;
- *припудривание* вулканизованных деталей тальком и обработка облож;
- *проверка* на соответствие технической документации;
- *монтаж* готового изделия.

В *производстве прорезиненных тканей* в настоящее время используются два вида технологий: обкладка на каландре и



промазка на клеепромазочной машине.

Сущность процесса *обкладки на каландрах* состоит в наложении слоя резиновой смеси на ткань с некоторым давлением (прессовкой) при прохождении ее через зазор между валками каландра, вращающимися с одинаковой скоростью. Величину зазора каландра устанавливают в соответствии с толщиной обрезаемой ткани и толщиной обкладки. Температурный режим обкладки ткани на каландре зависит от состава резиновой смеси. Процесс обкладки обеспечивает высокую производительность, однако ткани, полученные этим способом, имеют большую (до 500 г/м<sup>2</sup>) массу.

Для получения облегченных тканей используют *технологии промазки на клеепромазочной машине*. Сущность этого способа состоит в нанесении на поверхность ткани тонких слоев резинового клея. При испарении растворителя на поверхности ткани остается плотно прилегающая пленка резиновой смеси. Каждый последовательный слой клея, наносимый на поверхность ткани, называется *штрихом*. Промазка тканей резиновым клеем обеспечивает им более гладкую поверхность, более высокую газо- и влагонепроницаемость и большую прочность связи резины с тканью по сравнению с обработкой на каландре.

Возможно изготовление прорезиненной ткани комбинированным способом: ткань с одной стороны промазывается клеем на клеепромазочной машине, а с другой стороны обкладывается на каландре.

Вулканизация прорезиненных тканей проводится в котле в паровой среде при температурах 143...151 °С в течение 60 мин.

Важную роль при изготовлении прорезиненных тканей играет ее основа (подложка), которая может быть хлопчатобумажной, на основе полиамидного и полипропиленового волокна, а также на основе комбинации хлопчатобумажных и полиамидных волокон. В настоящее время чаще всего используются синтетические основы, как правило, на основе полиамидных волокон.

На хлопчатобумажной ткани (например, типа перкаля «А») возможны дефекты: утолщение нити, узлы, шишки и др. При промазке ткани текстильные пороки из-за небольшого количества резины не перекрываются, что может повлиять на воздухопроницаемость прорезиненной ткани. Синтетические ткани имеют гладкую поверхность, не засорены, и у них отсутствуют дефекты, свойственные хлопчатобумажным тканям.

Основными техническими требованиями, предъявляемыми к основе прорезиненных тканей, являются: поверхностная плотность, разрывная нагрузка, удлинение при разрыве.

Рецептура резиновых смесей, с одной стороны, должна обеспечивать газо- и воздухопроницаемость, морозостойкость, санитарно-гигиенические и токсикологические показатели, а с другой – обладать адгезионными свойствами к синтетической основе с показателями по расслаиванию не ниже, чем для хлопчатобумажной основы. Низкой газопроницаемостью обладают резины на основе бутилкаучука и его модификаций. Однако резины на основе одного бутилкаучука обладают повышенной липкостью при переработке их на клеепромазочной машине, поэтому для снижения липкости были созданы композиции на основе сочетания бутилкаучука с этилен-пропиленовым каучуком. Технологические свойства резиновой смеси на основе комбинации каучуков позволяют ускорить процесс изготовления ткани на клеепромазочной машине за счет нанесения меньшего количества штрихов и улучшить такие показатели ткани, как свето-, погодо- и износостойкость.

При изготовлении прорезиненной ткани на каландре лучше использовать резиновую смесь на основе бутилкаучука, которая характеризуется меньшей вязкостью.

*Формованные* соединительные гофрированные трубки, полумаски и диафрагмы изготавливают на специализированных предприятиях методом прессования на пресс-формах.

Герметизирующие прокладки могут быть изготовлены как *формовым* методом (на пресс-формах), так и *вырубкой* на прессах из листовой резины.

К основным пластмассовым комплектующим и деталям, применяемым в ИДА, относятся корпус и крышка футляров, теплозащитный кожух, штуцер, гайка, пробка, патрубок, корпус и шток КИД. Эти детали изготавливаются *литьем под давлением* на литьевых машинах.

Режимы литья для используемых полимерных материалов приведены в табл. 14.

Для изготовления сборочных единиц из пленочных материалов используется сварка, которая является наиболее технологичным соединением пленочных полимерных материалов. По этой технологии в настоящее время на зарубежных фирмах изготавливаются герметичные пакеты, дыхательные мешки, колпаки из различных пленочных материалов. В России же в настоящее время колпаки и дыхательные мешки для серийно выпускаемых самоспасателей изготавливаются из прорезиненных материалов: колпаки – способом шитья с последующей проклейкой швов, дыхательные мешки – способом склеивания.

В новых разрабатываемых изделиях планируется постепенно заменять прорезиненные материалы на полимерные композиционные материалы на полиамидной трикотажной основе с полиуретановым и поливинилхлоридным покрытием, позволяющие повысить технологичность изготовления колпаков и дыхательных мешков.

Изделия из этих полимерных материалов изготавливаются с помощью высокочастотной сварки. Отличительной особенностью высокочастотной сварки являются:

#### 14. Режимы литья некоторых полимерных материалов

Наименование материала	Температура литья, °С	Удельное давление, кг/см <sup>2</sup>	Выдержка на 1 мм толщины изделия, с	Температура нагрева формы, °С
Полиэтилен низкого давления	160...200	700...1200	10...40	40...50
Полипропилен	220...270	800...1700	10...20	–
АрмленПП ТМ 20-2УПТУ 2243-013-11378612-01	200...250	800...1000	60...90	40...50
Полистиролударопрочный	155...165	500...2000	1...2	40

- малое время сварки (несколько секунд);
- высокое качество сварного соединения, возможность изготовления за одну операцию изделий со сложной конфигурацией сварного шва;

- возможность соединения внахлест синтетических швейных материалов.
- стабильность процесса.

По сравнению со склеиванием, изготовление изделий способом сварки значительно улучшает качество изделий и удешевляет их стоимость.

К основным *химическим материалам*, применяемым в ИДА, относятся регенеративный продукт, химические поглотители и компоненты, идущие на изготовление пускового брикета. Подробное рассмотрение технологии их изготовления выходит за рамки этого учебного пособия.

К основным *шитым комплектующим и сборочным единицам*, применяемым в ИДА, относятся разнообразные ремни и системы креплений, обеспечивающие фиксацию аппарата пользователем при ношении. Как правило, они изготавливаются способом шитья на швейных машинках из различных хлопчатобумажных или синтетических ремней.

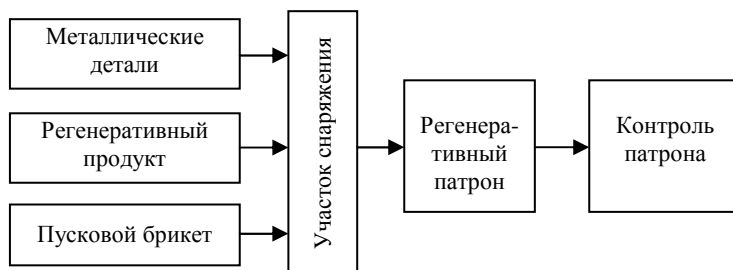
Следует отметить, что производство ИДА и его комплектующих унифицировано и механизировано. Унификация, т.е. приведение к единообразию применительно к технологии, означает приведение различных видов продукции и средств ее производства к рациональному минимуму типоразмеров, марок, форм, свойств и т.п.

Технологический процесс производства серийно выпускаемых ИДА, в общем случае, производится в определенной последовательности:

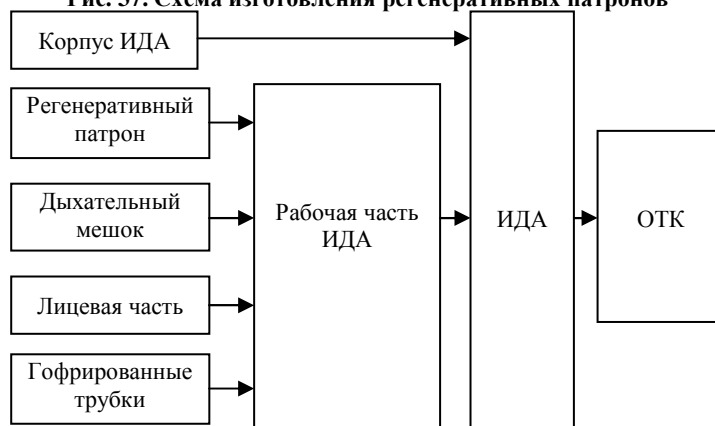
- закупка необходимых для производства ИДА материалов, сырья и комплектующих, а также входной контроль на соответствие основным показателям технической документации;
- изготовление шитых и пластмассовых деталей ИДА;
- изготовление металлических деталей;
- гальваническая обработка металлических деталей;
- изготовление регенеративного патрона;
- изготовление основных сборочных единиц ИДА;
- сборка и упаковка ИДА.

*Изготовление регенеративных патронов* в общем случае состоит из следующих основных стадий (рис. 37):

1. Металлические детали, прошедшие гальваническую обработку, поступают на участок снаряжения патрона.
2. Сырье поступает в отделение обработки и изготовления кислородсодержащих химических продуктов. Регенеративный продукт рассеивают в ситах с определенным размером ячеек на установке типа «Грохот». Отбирают пробу на определение массовой доли кислорода и отсутствие горючих примесей согласно техническим условиям на регенеративный продукт.
3. Изготовление пускового брикета. Технология производства пускового брикета заключается в приготовлении многокомпонентной смеси с последующим прессованием из нее брикетов соответствующей конфигурации.
4. На участок снаряжения ИДА подают металлические детали, регенеративный продукт и пусковые брикеты. Верхнюю крышку с противопылевыми фильтрами приваривают шовой сваркой к корпусу регенеративного патрона, устанавливают пусковой брикет. Засыпают необходимое количество регенеративного продукта, определяемое РКД на аппарат, в металлический корпус патрона, приваривают нижнюю крышку.
5. Проверяют пылевыведение и сопротивление патрона постоянному потоку воздуха. Патроны, прошедшие контроль, подают на участок сборки ИДА.



**Рис. 37. Схема изготовления регенеративных патронов**



**Рис. 38. Схема сборки изолирующего дыхательного аппарата**

*Сборка ИДА* в общем случае состоит из следующих основных стадий, представленных на рис. 38.

На участок сборки ИДА подается: корпус ИДА (или футляр), регенеративный патрон, дыхательный мешок, лицевая часть ИДА и гофрированные трубки.

1. Дыхательные мешки, полученные с предприятия-изготовителя, проходят входной контроль. В дыхательные мешки вставляют клапан избыточного давления, проверяют сопротивление клапана избыточного давления постоянному потоку воздуха. Дыхательные мешки, прошедшие контроль, подаются на сборку рабочей части.
2. Лицевые части укомплектовывают незапотевающими пленками в соответствии с технической документацией.

3. Собирают рабочую часть ИДА в общем случае из регенеративного патрона, дыхательного мешка, гофрированных трубок и лицевой части. Собранный рабочую часть проверяют на герметичность на установке.

4. Рабочие части, прошедшие контроль, укладывают в корпус или футляр, которые проверяют на герметичность. В случае самоспасателя, предназначенного для постоянного ношения, ее размещают в футляр из металла или ударопрочного пластика. В случае самоспасателя, предназначенного для хранения вблизи мест применения, рабочая часть ИДА упаковывается в герметичный пакет из фольгированного полимерного материала и помещается в картонную коробку или пластмассовый футляр.

Собранные готовые изделия принимает контролер ОТК согласно плану контроля, предусмотренному на предприятии. На годные изделия ставится штамп ОТК, изделия упаковывают и передают на склад готовой продукции.

## 9. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В качестве примеров практического конструирования дыхательных аппаратов рассмотрим самоспасатели и аппараты для аварийных работ, разработанные ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

### 9.1. САМОСПАСАТЕЛИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Обеспечение защиты гражданского населения в чрезвычайных ситуациях является в настоящее время хотя и прогрессирующей, но в недостаточной степени развитой областью. Основными областями применения средств защиты гражданского населения являются:

- защита при пожарах;
- защита в секторе коммунального хозяйства;
- защита гражданского населения, проживающего рядом с промышленными предприятиями и вблизи железнодорожных станций при авариях на них;
- защита персонала и пассажиров при авариях на транспорте (водном, железнодорожном и т.д.);
- защита от оружия массового поражения;
- защита от последствий террористических актов.

Основные проблемы в организации защиты гражданского населения связаны со следующими факторами:

- средства защиты должны быть адаптированы для различных категорий гражданского населения (мужчин, женщин, детей) широкого возрастного диапазона с существенно отличающимися антропометрическими размерами;
- необходимо обеспечить защиту лиц с ослабленным здоровьем, дефектами зрения;
- конструкция средств защиты должна быть простейшей, позволять применять их лицами без тренировок, с минимальным числом операций по включению;
- должна быть обеспечена защита в условиях разнообразной природы поражающих токсичных веществ, потенциально высоких их концентраций, снижения концентрации кислорода в определенных ситуациях.

Для защиты гражданского населения используются как фильтрующие, так и изолирующие средства защиты, однако последние имеют определенные преимущества перед фильтрующими СИЗОД, поскольку обеспечивают защиту:

- от всех токсичных веществ;
- при недостатке кислорода в окружающей среде;
- при объемной доле токсичных веществ до 100 %.

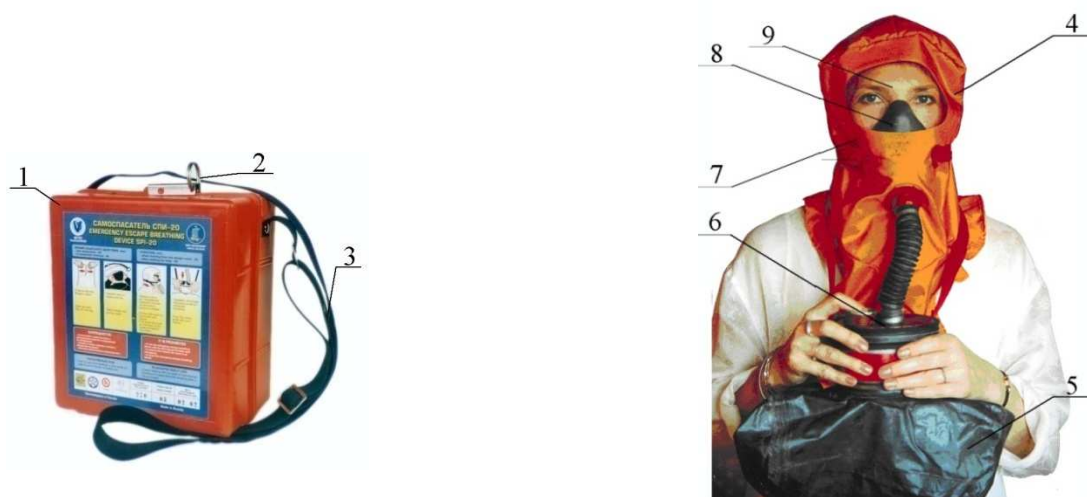
Для защиты гражданского населения ОАО «Корпорация «Росхимзащита» серийно выпускает самоспасатели СПИ-20, СПИ-50, УДС-15. Они предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения гражданского населения при эвакуации из помещений во время пожара, но могут быть использованы и в других чрезвычайных ситуациях, сопровождающихся появлением непригодной для дыхания атмосферы. Самоспасатели СПИ-20, СПИ-50, УДС-15 обеспечивают защиту от вредных примесей, выделяющихся при пожарах: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HCN и при содержании кислорода в окружающей среде менее 18 % объемных. Они являются средствами защиты одноразового действия и выпускаются готовыми к немедленному использованию без предварительного обучения людьми старше 14 лет, в том числе, имеющими объемные прически и очки. Самоспасатели защищают голову и шею человека от таких поражающих факторов при пожаре, как воздействие теплового потока, искр, кратковременного действия пламени.

*Самоспасатели СПИ-20* (рис. 39) и *СПИ-50* (рис. 40) состоят из футляра 1 (коробки) и рабочей части, уложенной в герметичный трехслойный пленочный пакет. Футляр укомплектован ремнями 3 для переноски самоспасателя.

Рабочая часть СПИ-20 состоит из колпака 4, мешка дыхательного 5 и регенеративного патрона 6. Для изоляции органов дыхания внутри колпака расположена полумаска 8, которая плотно притягивается к лицу человека с помощью утяжника 7, расположенного на внешней стороне колпака и соединенного с полумаской заклепками. Дополнительную герметизацию по шее обеспечивает эластичный обтюратор. На пелерине колпака имеются два ограничителя перемещения патрона. Швы колпака проклеены изнутри проклеечной лентой. Для предохранения смотрового окна колпака от запотевания применяется запотевающая пленка, расположенная с внутренней стороны смотрового окна. С целью более быстрого обнаружения человека в аварийной ситуации на колпаке имеется световозвращающая лента, расположенная над смотровым окном колпака.

Возможность быстрого включения необученного пользователя в самоспасатель СПИ-20 обеспечивается конструкцией колпака: для включения достаточно надеть колпак, затянуть ремень, привести в действие пусковое устройство. Порядок включения в самоспасатель представлен на красочных рисунках (пиктограммах), находящихся на внешней поверхности футляра. Конструкция колпака обеспечивает фактический коэффициент подсоса по масляному туману на уровне  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  %.

Рабочая часть самоспасателя СПИ-50 по составу аналогична рабочей части самоспасателя СПИ-20, но отличается расположением дыхательного мешка относительно регенеративного патрона: у СПИ-20 – снизу, у СПИ-50 – сверху.



**Рис. 39. Самоспасатель СПИ-20:**

1 – корпус футляра; 2 – кольцо; 3 – ремень; 4 – колпак; 5 – дыхательный мешок; 6 – патрон регенеративный; 7 – утяжнитель; 8 – полумаска; 9 – смотровое окно



**Рис. 40. Самоспасатель СПИ-50:**

1 – колпак; 2 – дыхательный мешок; 3 – патрон регенеративный с защитным кожухом; 4 – утяжнитель; 5 – смотровое окно

Патрон регенеративный снаряжен зерненным кислородсодержащим продуктом на основе  $\text{KO}_2$ . Он предназначен для поглощения выдыхаемого диоксида углерода и влаги и выделения необходимого для дыхания кислорода. Для обеспечения кислородом в первые минуты пользования СПИ-20 (СПИ-50) и для ускорения разработки продукта в патроне имеется пусковой брикет, который включается в работу нажатием пальцем на пусковую ампулу. Под действием раствора ампулы пусковой брикет начинает выделять кислород и тепло.

Рабочая часть компактно укладывается в пакет из трехслойного пленочного материала, который обеспечивает герметичность рабочей части при хранении. Для быстрого и удобного вскрытия верхняя часть пакета имеет посередине надрез до линии сварки.

Пакет с рабочей частью самоспасателя СПИ-20 может быть уложен в пластмассовый футляр для стационарного крепления на стене или в пластмассовый футляр с ремнями для переноски на плече или в картонную коробку, которая позволяет переносить самоспасатель в руках. На футлярах и коробке нанесена информация о времени защитного действия, правилах использования, мерах безопасности, гарантийном сроке хранения, товарном знаке изготовителя и поставщика, стране-производителе, а также маркировка, включающая номер самоспасателя, номер партии, дату изготовления.

Футляр (коробка) предохраняет рабочую часть от механических повреждений, попадания воды, масла, воздействия влаги окружающего воздуха при транспортировании и хранении.

Футляр (коробка) опломбирован определенным образом, не позволяющим производить их несанкционированное вскрытие.

Устройство дыхательное судовое УДС-15 является средством индивидуальной защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений с опасной для жизни атмосферой, возникающей при авариях на судах, а также при объемной доле кислорода в окружающей атмосфере менее 18 %.

Устройство дыхательное судовое УДС-15 состоит из сумки 1 и рабочей части, уложенной в пакет (рис. 41).

Рабочая часть УДС-15 состоит из колпака 4, дыхательного мешка 10 и патрона регенеративного 8. Для изоляции органов дыхания внутри колпака расположена полумаска 5 и система крепления ее к лицу пользователя. Дополнительную герметизацию по шее обеспечивает эластичный обтюратор 11.

Как и в самоспасателе СПИ-20, для предохранения смотрового окна колпака УДС-15 от запотевания применяется незапотевающая пленка, расположенная с внутренней стороны смотрового окна. С целью более быстрого обнаружения человека в аварийной ситуации на колпаке имеется световозвращающая лента, расположенная над смотровым окном колпака и на его

затылочной части.



**Рис. 41. Устройство дыхательное судовое УДС-15:**

1 – сумка; 2 – пиктограмма; 3 – ремень; 4 – колпак; 5 – полумаска; 6 – смотровое окно; 7 – ампула пусковая; 8 – патрон регенеративный в теплоизоляторе; 9 – клапан избыточного давления; 10 – дыхательный мешок; 11 – обтюратор

Конструкция УДС-15 обеспечивает еще более простое включение в самоспасатель по сравнению с СПИ-20 и СПИ-50. Это достигается тем, что система крепления представляет собой эластичные тесемки, которые обеспечивают необходимое прилегание полумаски при надевании колпака без дополнительной регулировки. Для надевания самоспасателя пользователю достаточно просто надеть колпак и расправить его на затылке.

Дыхательный мешок расположен сверху колпака, при этом одна его стенка является задней стенкой колпака. Для сбрасывания избыточного объема дыхательной смеси в мешке имеется клапан избыточного давления 9.

Передняя часть колпака заканчивается теплоизолятором для размещения в нем патрона и обеспечения защиты тела и руки пользователя от нагретой поверхности патрона.

Устройство патрона и укладка рабочей части УДС-15 в герметичный пакет и СПИ-20 принципиально не отличаются. Пакет с рабочей частью УДС-15 уложен в сумку, которая служит для предохранения рабочей части от механических повреждений, попадания воды, масла, воздействия влаги окружающего воздуха при транспортировании и хранении. Сумка снабжена ремнем для переноски УДС-15. На внешней поверхности сумки имеется пиктограмма со следующей информацией: время защитного действия, правила использования УДС-15, меры безопасности, гарантийный срок хранения, товарные знаки изготовителя и поставщика, страна-производитель и маркировка, включающая: номер УДС-15, номер партии, дату изготовления.

Сумка закрывается на застежку-молнию, бегунок которой опломбирован, что не позволяет производить несанкционированное вскрытие сумки. Место пломбировки закрыто клапаном.

Основные технические характеристики самоспасателей СПИ-20, СПИ-50 и УДС-15 приведены в табл. 15.

### 15. Основные технические характеристики самоспасателей

Технические характеристики	Самоспасатель		
	СПИ-20	СПИ-50	УДС-15
1. Температурный интервал эксплуатации, °С	0...60 °С		– 5...60 °С
2. Время защитного действия, не менее, мин:			
в режиме средней физической нагрузки	20,0	50,0	15,0
в режиме тяжелой физической нагрузки	7,5	12,5	8,0
в покое	40,0	150,0	45,0
3. Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси (при температуре окружающей среды $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , не более	плюс 45	плюс 45	плюс 50
4. Стойкость к воздействию температуры 200 °С в течение 60 с	Стоек	Стоек	Стоек
4. Масса рабочей части, не более, кг	1,5	2,5	1,5
5. Габаритные размеры, не более, мм	В футляре для переноски – 115×195×220; В коробке – 115×190×210	130×200×240	140×260×330
6. Возможность ведения переговоров	Имеется	Имеется	Имеется
7. Гарантийный срок хранения, лет	5	5	5

## 9.2. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для защиты персонала промышленных предприятий ОАО «Росхимзащита» серийно выпускает противогаз изолирующий ИП-4МР и портативное дыхательное устройство ПДУ-3.

Противогаз изолирующий ИП-4МР используется в народно-хозяйственных целях и предназначен для защиты органов дыхания, зрения, кожного покрова от воздействия вредных веществ, образующихся при пожарах и авариях, а также в атмо-

сфере с пониженным содержанием кислорода или его отсутствии.

Противогаз изолирующий ИП-4МР может использоваться многократно (до 5 раз) при условии замены патрона и необходимых проверок в соответствии с руководством по эксплуатации.

Противогаз ИП-4МР состоит из лицевой части с пробкой, патрона, дыхательного мешка, сумки, каркаса.

ИП-4МР комплектуется лицевой частью – маской МИА-1, изготавливаемой в трех ростах. В патрубок маски при сборке противогаза с патроном вставляется пробка для обеспечения герметичности.

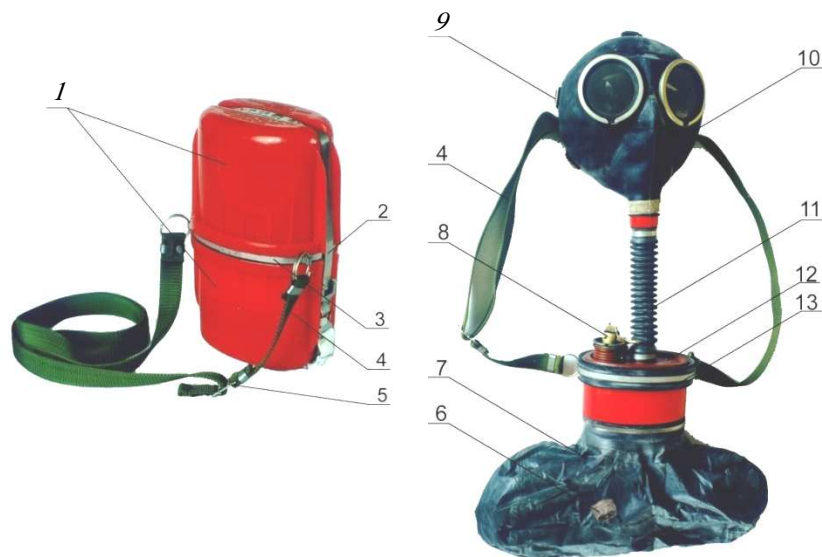
Патрон снаряжен кислородсодержащим продуктом и пусковым брикетом для обеспечения кислородом в первые минуты пользования ИП-4МР и для ускорения разработки продукта.

Патрон приводится в действие с помощью винтового или рычажного пускового устройства в зависимости от конструкции патрона. При переводе рычага на 180° или при повороте винта по часовой стрелке до упора происходит давление на пусковую ампулу, инициирующий раствор пусковой ампулы попадает на пусковой брикет, который разлагается, выделяя кислород, тепло и влагу. Дыхательный мешок с клапаном избыточного давления крепится на металлическом каркасе, предотвращающем его сдвливание при использовании противогаза. Каркас с дыхательным мешком и патроном размещен в сумке из специальной прорезиненной ткани, стойкой к агрессивным жидкостям. Она служит для хранения и переноски противогаза, а также для защиты его узлов от облива агрессивными жидкостями и механических повреждений. Сверху каркаса крепится при помощи стяжной ленты патрон.

Ремни сумки пряжками регулируются по длине и позволяют носить противогаз как на боку, так и располагать его на спине.

*Портативное дыхательное устройство ПДУ-3* предназначено для экстренной защиты органов дыхания и зрения людей в атмосфере, непригодной для дыхания, или при недостаточной для дыхания объемной доли кислорода менее 18 % в окружающей среде, в том числе при наличии в воздухе сероводорода.

ПДУ-3 (рис. 42) является изолирующим средством защиты одноразового использования, выпускается готовым к немедленному



**Рис. 42. Портативное дыхательное устройство ПДУ-3:**

1 – корпус футляра; 2 – стяжная лента; 3 – хомут; 4 – ремень шейный; 5 – пряжка; 6 – клапан избыточного давления; 7 – дыхательный мешок; 8 – пусковое устройство; 9 – наголовник; 10 – лицевая часть; 11 – гофрированная трубка; 12 – патрон регенеративный; 13 – резиновое кольцо

применению и позволяет выполнять первичные мероприятия по борьбе с авариями и производить эвакуацию промышленного персонала из опасной зоны.

ПДУ-3 состоит из двух основных узлов: пластмассового футляра 1, состоящего из верхнего и нижнего корпуса, и уложенной в футляр рабочей части. Футляр герметизируется с помощью резинового кольца и стяжной ленты и имеет ремень с пряжкой.

Рабочая часть ПДУ-3 включает в себя: патрон регенеративный 12 с пусковым устройством 8 и резиновым кольцом 13, дыхательный мешок 6 с клапаном избыточного давления 7, лицевую часть 10 с гофрированной трубкой 11.

ПДУ-3 комплектуется лицевой частью – маской МПДА, изготавливаемой в одном росте. Маска МПДА с гофрированной трубкой предназначена для защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от окружающей среды. Маска состоит из корпуса с очковым узлом, имеющим круглые стекла, obtюратора, наголовника и пряжек для подгонки ее по размеру головы. Маска в области рта имеет резину малой толщины, которая позволяет вести переговоры без применения переговорного устройства.

Патрон служит для поглощения выдыхаемой двуокиси углерода и влаги и выделения необходимого для дыхания кислорода. В патроне имеется пусковая ампула для приведения в действие с помощью пускового устройства пускового брикета. Дыхательный мешок изготовлен из эластичной прорезиненной ткани. Для сбрасывания избыточного количества газовой смеси на мешке имеется клапан избыточного давления натяжного действия.

Футляр состоит из двух одинаковых верхнего и нижнего пластмассовых корпусов. Футляр служит для предохранения рабочей части ПДУ-3 от механических повреждений, попадания воды, масла, преждевременной отработки пускового брикета и регенеративного продукта от воздействия влаги окружающего воздуха, а также для переноски и хранения ПДУ-3 на складах и в помещениях. Герметизация футляра осуществляется с помощью резинового кольца и стяжной ленты 2. На корпусах футляра указана краткая инструкция по пользованию ПДУ-3.

Имеющийся на футляре ремень предназначен для ношения ПДУ-3 и крепления рабочей части на шее во время пользования. Длина ремня регулируется пряжкой 5.



Основные технические характеристики противогаза изолирующего ИП-4МР и портативного дыхательного устройства ПДУ-3 приведены в табл. 16.

#### 16. Основные технические характеристики противогаза изолирующего ИП-4МР и портативного дыхательного устройства ПДУ-3

Технические характеристики	ИП-4МР	ПДУ-3
1. Температурный интервал эксплуатации	– 40...+40 °С	– 35...+40 °С
2. Время защитного действия, не менее, мин:		
в режиме средней физической нагрузки	60	20
в режиме тяжелой физической нагрузки	40	70
в покое	180	
3. Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси (при температуре окружающей среды $(25 \pm 2)$ °С, не более	50	
4. Масса аппарата, не более, кг	3,5	1,6
5. Габаритные размеры, не более, мм	340 × 165 × 290	150 × 100 × 225
6. Возможность ведения переговоров	Имеется	Имеется
7. Гарантийный срок хранения, лет	5	5

### 9.3. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ДЛЯ ШАХТЕРОВ

Для защиты персонала горнодобывающей промышленности в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработаны самоспасатель ШСС-Т и респиратор РХ-90Т.

Самоспасатель ШСС-Т (рис. 43) и респиратор РХ-90Т предназначены для защиты органов дыхания и зрения человека при подземных авариях с непригодной для дыхания газообразной средой, характеризующейся наличием вредных примесей (в % объемных): CO – до 10; SO<sub>2</sub> – до 1; H<sub>2</sub>S – до 1; NO<sub>2</sub> – до 1; CO<sub>2</sub> – до 100; CH<sub>4</sub> – до 100, а также при содержании O<sub>2</sub> в пределах 0...21 % объемных, а массовой концентрации угольной (породной) пыли до 10 г/м<sup>3</sup>. Самоспасатель ШСС-Т является средством защиты одноразового действия, выпускается готовым к немедленному использованию и рассчитан на индивидуальное постоянное ношение и групповое хранение на специальных стеллажах в местах эксплуатации.

ШСС-Т (рис. 43) состоит из следующих основных частей: футляра из нержавеющей стали, состоящего из корпуса и крышки, и уложенной в футляр рабочей части. Рабочая часть самоспасателей включает в себя загубник 3, носовой зажим 2, очки защитные 1, гофрированную трубку, мешок дыхательный 4 с клапаном избыточного давления, патрон с пусковым устройством, закрепленный внутри корпуса футляра 5, и теплоизолятор для предотвращения соприкосновения нагретого при работе патрона корпуса футляра с телом человека.

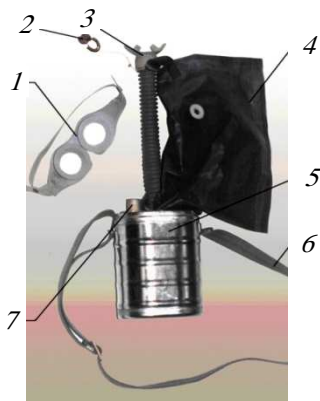


Рис. 43. Шахтный самоспасатель ШСС-Т:

1 – очки защитные; 2 – носовой зажим; 3 – загубник; 4 – дыхательный мешок; 5 – футляр (корпус) с регенеративным патроном; 6 – шейный ремень; 7 – автоматическое пусковое устройство

Регенеративный патрон, предназначенный для поглощения выдыхаемого диоксида углерода и влаги и выделения необходимого для дыхания кислорода, имеет пусковой брикет и ампулу с кислотой для приведения брикета в действие. При срыве крышки футляра ампула раздавливается пружиной автоматического пускового устройства.

Футляр, предназначенный для предохранения рабочей части самоспасателей от механических повреждений, попадания органических жидкостей, герметизируется двумя стяжными лентами, стягивающими металлические корпус и крышку футляра.

Основные технические характеристики самоспасателя приведены в табл. 17.

Респиратор РХ-90Т (рис. 44) является средством защиты органов дыхания многоразового действия при условии замены регенеративных патронов. При использовании респиратора в температурном диапазоне 10...40 °С допускаются перерывы в работе общей продолжительностью до 30 мин в течение первых 60 мин работы респиратора. Перерывы не уменьшают время защитного действия респиратора.

Респиратор разработан в двух вариантах: с датчиком отработки, (РХ-90ТД) и респиратор без датчика (РХ-90Т).

Респиратор включает в себя следующие основные составные части: два регенеративных патрона РП-РУ и РП-РУ-01, мешок дыхательный МРХ, тройник-теплообменник, ранец, систему шланговую, очки, два плечевых ремня, теплоизолятор, гарнитуры головной, датчик отработки респиратора взрывозащищенный ДОР-2В (входит в состав только респиратора РХ-90ТД).

## 17. Технические характеристики самоспасателя ШСС-Т

Технические характеристики	Значение показателя
1. Время защитного действия, не менее, мин: в режиме средней физической нагрузки в покое	60,0 260,0
2. Температурный диапазон эксплуатации, °C	-20...+40
3. Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси (при температуре окружающей среды (20±5) °C), не более	+55
4. Масса самоспасателя, не более, кг	3,0
5. Масса рабочей части самоспасателя, не более, кг	2,4
6. Габаритные размеры, не более, мм	111 × 146 × 248
7. Гарантийный срок	5,5 лет со дня изготовления



**Рис. 44. Респиратор РХ-90Т:**

1 – клапанная коробка с загубником; 2 – воздуховод; 3 – корпус; 4 – подвесная система; 5 – регенеративный патрон; 6 – дыхательный мешок

Респиратор в рабочем положении размещается на спине человека. Основные узлы респиратора (патроны, закрепленные стяжками на плате, дыхательный мешок с клапаном избыточного давления, тройник-теплообменник) расположены в жестком ранце.

Для защиты дыхательного мешка от контакта с горячей поверхностью патронов между ними устанавливается перегородка.

Респиратор работает следующим образом. Для обеспечения кислородом в первые минуты пользования респиратором применяются пусковой брикет и ампула, которая раздавливается пружиной, находящейся внутри пускового устройства, при натяжении троса запуска. Кислород из пускового брикета патрона РП-РУ через тройник-теплообменник заполняет дыхательный мешок 6. Одновременно выдыхаемая человеком ГДС через клапанную коробку с загубником 1 и воздуховод 2 поступает в патроны 5, снаряженные кислородосодержащим продуктом, где очищается от диоксида углерода, обогащается кислородом и нагревается. Далее она проходит через тройник-теплообменник, где охлаждается, в дыхательный мешок. При вдохе ГДС из дыхательного мешка через шланг вдоха, клапанную коробку и коробку с загубником поступает в органы дыхания человека.

Движение ГДС, благодаря дыхательным клапанам, встроенным в клапанную коробку, осуществляется всегда в одном и том же направлении – по замкнутому кругу. Избыток ГДС, образующийся в респираторе вследствие превышения выделения кислорода кислородосодержащим продуктом над его потреблением человеком, удаляется в атмосферу из дыхательного мешка через клапан избыточного давления.

Основные технические характеристики респиратора РХ-90Т приведены в табл. 18.

## 18. Технические характеристики респиратора РХ-90Т

Технические характеристики	Значение показателя
1. Время защитного действия в режиме средней физической нагрузки, не менее, мин	120,0
2. Температурный диапазон эксплуатации, °C	-10...+40
3. Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси, °C, не более: при температуре окружающей среды плюс 25 °C в течение 30 мин при температуре окружающего воздуха плюс 40 °C	+45



4. Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС в течение гарантированного ВЗД, не более, %	2,0
5. Масса респиратора, не более, кг	9,0
6. Габаритные размеры, не более, мм: длина ширина высота	470 340 153
7. Гарантийный срок	5 лет со дня изготовления, из них 3 года в условиях эксплуатации

#### 9.4. САМОСПАСАТЕЛИ ДЛЯ КОСМОНАВТОВ

Для защиты экипажей космических кораблей и Международной космической станции ОАО «Росхимзащита» разработан *прибор ИПК-1М*, предназначенный для защиты органов дыхания и зрения членов экипажей космических кораблей от токсичных газо- и парообразных продуктов, образующихся при пожарах и авариях, а также при парциальном давлении кислорода в окружающей атмосфере менее 17,2 кПа (при объемной доле менее 17 % при давлении 101,3 кПа).

Прибор ИПК-1М работоспособен:

- а) в условиях гермоотсеков:
  - при объемных долях азота до 78 %, кислорода до 40 %, диоксида углерода до 3 %, гелия до 1 %;
  - при давлении 58,0...125,1 кПа (450...970 мм рт. ст.), температуре  $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ , относительной влажности от 20 до 80 %, принудительной циркуляции воздуха со скоростью 0,5...1,5 м/с;
- б) в условиях невесомости;
- в) после нахождения в вакууме  $1,36 \cdot 10^{-2}$  Па ( $10^{-4}$  мм рт. ст.) в течение 100 ч;
- г) после воздействия внешних факторов:
  - фона космической радиации 3,5 Гр/сутки (0,035 рад/сутки);
  - шумов до 65 дБ длительно и 70 дБ кратковременно;
  - вспышек на солнце мощностью  $3 \times 10$  Гр (300 рад), трех вспышек мощностью  $10^4$  Гр каждая в течение 18 ч с длительностью одной вспышки 6 ч, потока протонов  $3 \times 10^9$  прот/см<sup>2</sup> с энергией более 100 МэВ (доля  $\alpha$ -частиц – 15 %).

Прибор является средством защиты одноразового действия и выпускается готовым к немедленному использованию.

Прибор ИПК-1М (рис. 45) состоит из рабочей части, включающей в себя: защитный колпак, патрон, мешок дыхательный и мешок для хранения рабочей части.

Защитный колпак с полумаской, обтюратором и гофрированной трубкой предназначен для защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от окружающей среды, направления выдыхаемой ГДС в патрон, подведения очищенной от диоксида углерода и обогащенной кислородом ГДС к органам дыхания.



Рис. 45. Прибор ИПК-1М:

1 – защитный колпак; 2 – полумаска; 3 – утяжик; 4 – гофрированная трубка; 5 – патрон в теплоизоляционном экране; 6 – дыхательный мешок; 7 – клапан избыточного давления; 8 – ремень нагрудника; 9 – пусковое устройство; 10 – переговорное устройство; 11 – смотровое окно; 12 – мешок для хранения рабочей части; 13 – пиктограмма; 14 – клапан

Полумаска изолирует органы дыхания при затягивании утяжника ремнем с кольцом. Защитный колпак снабжен переговорным устройством, предназначенным для ведения переговоров. Смотровое окно защитного колпака снабжено с внутренней стороны незапотевающей пленкой для предохранения его от запотевания. На нагруднике защитного колпака имеется теплоизоляционный экран, предохраняющий руки от нагретой поверхности патрона. Ремень нагрудника служит для закрепления прибора на человеке.

Патрон предназначен для поглощения выдыхаемого диоксида углерода и влаги и выделения необходимого для дыхания кислорода. Патрон имеет рычажное пусковое устройство с ампулой для приведения в действие пускового брикета. Дыхательный мешок с клапаном избыточного давления расположен под патроном. В патрубок защитного колпака вставлена пробка-клапан, служащая для обеспечения герметичности рабочей части прибора при хранении и воздействии вакуума.

Рабочая часть компактно укладывается в пакет из трехслойного пленочного материала, который обеспечивает герметичность рабочей части при хранении. Пакет с рабочей частью уложен в мешок, который предохраняет рабочую часть от

механических повреждений. Застежка-молния мешка соединена кольцом из прорезиненной ткани с текстильной петлей, вшитой в боковой шов мешка. Такое соединение служит пломбировкой прибора. Пломбировка закрыта клапаном для предохранения от механических повреждений. Основные технические характеристики прибора ИПК-1М приведены в табл. 19.

### 19. Технические характеристики прибора ИПК-1М

Технические характеристики	ИПК-1М
1. Температурный интервал эксплуатации	10...30 °С
2. Время защитного действия, не менее, мин:	
в режиме средней физической нагрузки	40
в режиме тяжелой физической нагрузки	20
в покое	140
3. Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси (при температуре окружающей среды (25 ±2) °С, не более	55
4. Масса прибора, не более, кг	2,0
5. Габаритные размеры, не более, мм	180 × 290 × 155
6. Возможность ведения переговоров	Имеется
7. Гарантийный срок хранения, лет	5

### 9.5. ИЗОЛИРУЮЩИЙ ДЫХАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ СО СБАЛАНСИРОВАННОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ

Отличительной особенностью аппарата с химически связанным кислородом со сбалансированной регенерацией выдыхаемой газовой смеси, по сравнению с другими респираторами с химически связанным и сжатым кислородом, является отсутствие сброса дыхательной смеси в окружающую среду и оптимальная (20...50 %) объемная доля кислорода во вдыхаемой газовой смеси. Респиратор отличается экономным использованием регенеративного продукта, которого требуется в два раза меньше, чем в обычных респираторах с химически связанным кислородом. В связи с этим значительно уменьшено тепловыделение. Стоимость одного включения находится на уровне такового для респираторов со сжатым кислородом.

Аппарат в рабочем положении размещается на спине человека (рис. 46). Основные узлы расположены в жестком ранце.

В корпусе ранца 19 (рис. 47) размещены регенеративный 20 и поглотительный 2 патроны, мешки выдоха МСБР-1 21 и МСБР-2 5, мешок вдоха МСБР 4, воздухопровод 1 узла балансировки. Патроны установлены на панель и закреплены лентами стяжными 3. Воздуховод 1 закреплен на стойках панели полухомутами с помощью винтов.

На верхней стенке корпуса ранца закреплен кронштейн, через который проходит тяга 10 для приведения в действие пускового устройства 17 регенеративного патрона 20. Вне корпуса находятся дыхательные трубки вдоха 6 и выдоха 9, клапанная коробка 8, лицевая часть 7.

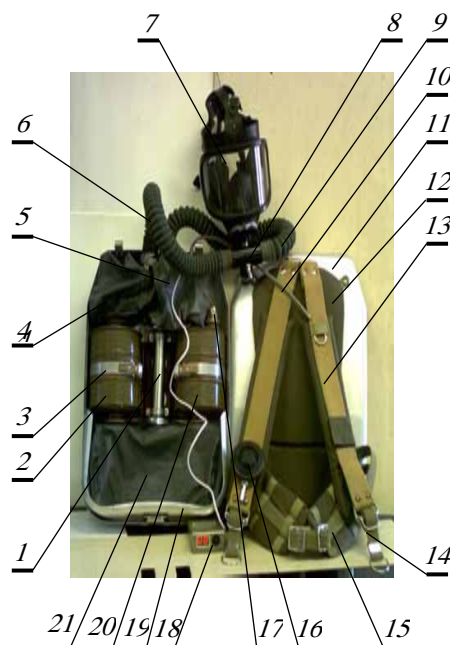
Корпус ранца закрывается щитком 11, имеющим вентиляционные отверстия и удерживаемым на корпусе защелкой пружинной и петлями. На щитке размещена подвесная система аппарата, которая состоит из теплоизолятора 12 с ремнем поясным 15, двух плечевых ремней 13 с амортизирующими подушками, ремней концевых 14 с кольцом натяжным на конце и кольцом самозатягивающимся для фиксации ремней после регулировки по росту человека. Верхние концы плечевых ремней крепятся к щитку, а надетая на них пряжка крепится к верхней части корпуса аппарата. На левом концевом ремне крепится свисток сигнальный 16.

Принципиальная схема аппарата представлена на рис. 48. Стрелками показано направление движения ГДС в системе аппарата при его работе.

Аппарат работает следующим образом. Предварительно извлекается пробка 18, закрывающая патрубков мешка выдоха МСБР-1 2, соединенного с выходным патрубком регенеративного патрона 3. С помощью тяги 7 извлекается пробка 5, закрывающая патрубков мешка выдоха МСБР-2 6, соединенного с входным патрубком регенеративного патрона 3. Одновременно приводится в действие пусковое устройство 4 регенеративного патрона 3. Кислород из пускового брикета регенеративного патрона 3 заполняет мешок выдоха МСБР-1 2. Часть выделяемого кислорода переходит через патрон поглотительный 14 в мешок

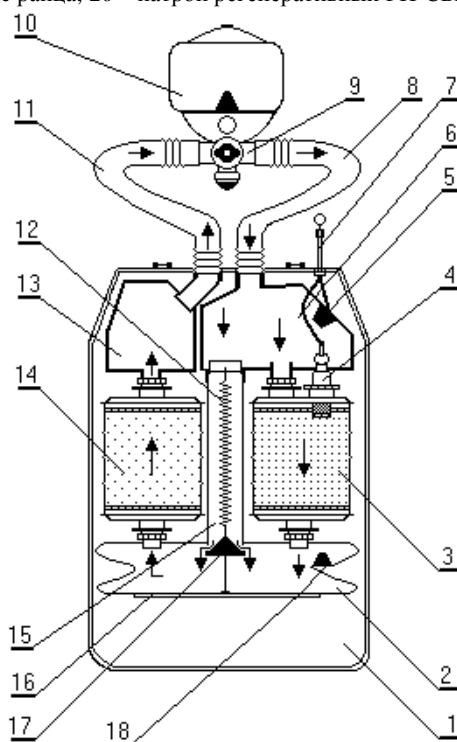


Рис. 46. Аппарат РТ-2СБР в рабочем положении



**Рис. 47. Устройство аппарата РТ-2СБР:**

1 – воздуховод; 2 – патрон поглотительный ПП-СБР; 3 – лента стяжная;  
 4 – мешок вдоха МСБР; 5 – мешок выдоха МСБР-2; 6 – трубка вдоха;  
 7 – лицевая часть; 8 – коробка клапанная; 9 – трубка выдоха; 10 – тяга;  
 11 – щиток; 12 – теплоизолятор; 13 – ремень плечевой; 14 – ремень концевой; 15 – ремень поясной; 16 – свисток; 17 – пусковое устройство;  
 18 – датчик отработки ДОР-2; 19 – корпус ранца; 20 – патрон регенеративный РП-СБР; 21 – мешок выдоха МСБР-1



**Рис. 48. Принципиальная схема аппарата РТ-2СБР:**

1 – корпус ранца; 2 – мешок выдоха МСБР-1; 3 – регенеративный патрон РП-СБР; 4 – пусковое устройство; 5, 18 – пробка; 6 – мешок выдоха МСБР-2; 7 – тяга; 8 – трубка выдоха; 9 – коробка клапанная; 10 – лицевая часть; 11 – трубка вдоха; 12 – пружина; 13 – мешок вдоха МСБР; 14 – патрон поглотительный ПП-СБР; 15 – воздуховод; 16 – усилитель; 17 – клапан перепуска

вдоха 13, клапан перепуска 17, соединенный с усилителем 16 и управляемый пружиной 12, остается закрытым. При выдохе выдыхаемая человеком ГДС с объемной долей диоксида углерода около 4 % через коробку клапанную 9, трубку выдоха 8, через мешок выдоха МСБР-2 поступает в регенеративный патрон 3, снаряженный кислородсодержащим продуктом, где очищается от диоксида углерода и обогащается кислородом. Далее она проходит в мешок выдоха МСБР-1 2. При наличии свободного объема в мешке вдоха 13 ГДС проходит в него через поглотительный патрон 14, где дополнительно очищается от диоксида углерода. При вдохе ГДС из мешка вдоха 13 проходит через трубку вдоха 11, клапанную коробку 9 и поступает в лицевую часть 10 и органы дыхания человека. Движение ГДС благодаря клапанной коробке осуществляется всегда в одном и том же направлении – по замкнутому кругу. При выдохе открывается клапан выдоха, при вдохе – клапан вдоха.

В дальнейшем при взаимодействии выдыхаемых диоксида углерода и паров воды с кислородсодержащим продуктом увеличивается объем кислорода в дыхательном контуре аппарата, увеличивается наполнение мешка выдоха 2 и при выдохе начинает открываться клапан перепуска 17 узла балансировки. Так как сопротивление воздуховода 15 при открытом клапане

перепуска 17 меньше сопротивления регенеративного патрона, то основная часть остатка выдыхаемой ГДС проходит в мешок выдоха 2, минуя регенеративный патрон. Прошедший при этом в мешок выдоха 2 диоксид углерода поглощается поглощательным патроном 14. В конце ВЗД при снижении коэффициента регенерации наполнение дыхательного мешка выдоха 2 уменьшается, клапан перепуска 17 при выдохе не открывается, выдох происходит только через регенеративный патрон.

Система «регенеративный патрон – поглощательный патрон» поглощает выдыхаемый пользователем диоксид углерода и выделяет практически только необходимый для дыхания объем кислорода, поэтому в аппарате отсутствует клапан избыточного давления, а повышение сопротивления выдоху говорит о неисправности аппарата и необходимости выхода из опасной зоны.

Аппарат является средством защиты органов дыхания многоразового действия.

Технические характеристики

Время защитного действия респиратора при нагрузке:

- легкой – не менее 600 (300) мин;
- средней – не менее 240 (120) мин;
- тяжелой – не менее 100 (50) мин.

Температура вдыхаемой газовой дыхательной смеси в респираторе при нагрузке средней тяжести и температуре окружающей среды плюс  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  – не более плюс  $40^\circ\text{C}$ .

Сопротивление дыханию на вдохе и выдохе в респираторе в течение времени защитного действия при нагрузке:

- легкой – не более 100 и 300 Па;
- средней – не более 300 и 500 Па;
- тяжелой – не более 600 и 750 Па, соответственно.

Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС – не более 1,5 %.

Объемная доля кислорода во вдыхаемой ГДС – 20...50 %.

Габаритные размеры респиратора – не более:

- длина 480 мм;
- ширина 350 мм;
- высота 160 мм.

Масса снаряженного респиратора – не более 10 кг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии даны общие сведения об автономных дыхательных аппаратах, приводится их классификация.

Изложены физиологические основы защиты органов дыхания человека и описаны процессы газо-, тепло- и влагообмена, происходящие в легких человека.

Дан анализ номенклатуры поражающих токсичных факторов и специфики их воздействия. Рассмотрены поражающие факторы, воздействующие на персонал промышленных предприятий, спасателей и гражданского населения при проведении эвакуации из аварийной зоны и работ по ликвидации последствий аварий на радиационно и химически опасных объектах, в условиях пожаров в зданиях и сооружениях, на предприятиях горнодобывающей промышленности и на транспорте.

Приведен расчет коэффициента защиты изолирующего дыхательного аппарата и его зависимость от степени изоляции системы.

Рассмотрены требования к составу газовой смеси в изолирующих дыхательных аппаратах и условиям дыхания, а также основные закономерности кислородопитания ИДА с химически связанным кислородом.

Подробно описаны основные составные части изолирующих дыхательных аппаратов: лицевые части, дыхательные мешки, регенеративные патроны и схемы их работы. Приведены общие технические требования к изолирующим дыхательным аппаратам и методы их испытаний.

Изложены современные подходы к конструированию изолирующих дыхательных аппаратов, показана связь конструкции ИДА с областью применения.

Показаны подходы к обеспечению выполнения показателей назначения и пути выполнения требований по эргономике и улучшению экономических показателей.

Приведена современная технология изготовления ИДА, его комплектующих и составных частей и примеры практического конструирования ИДА.

Учебное пособие может представлять интерес для студентов учебных заведений и инженерно-технических работников, специализация которых связана с защитой персонала промышленных предприятий и транспорта, а также разработкой изолирующих средств защиты органов дыхания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства индивидуальной защиты : справочное руководство / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейникова, М.Е. Трубицина. – СПб. : ГИПП «Искусство России», 2002. – 400 с.
2. Диденко, Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко. – М. : Недра, 1990.
3. Справочник по защите населения от сильнодействующих ядовитых веществ. – М. : Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 1995.
4. ГОСТ Р 22.9.05–1995. Комплексы средств индивидуальной защиты самоспасателей. Общие технические требования [Текст]. – Введ. 1995-06-20. – М. : Изд-во стандартов, 2005. – 7 с. (Безопасность в чрезвычайных ситуациях).
5. Грачев, В.А. Газодымозащитная служба : учебник / В.А. Грачев, Д.В. Поплавский. – М. : Пожкнига, 2004. – 384 с.
6. ГОСТ Р 12.4.220–2001. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Аппараты изолирующие автономные с химически связанным кислородом (самоспасатели) Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2001-08-21. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.

7. НПБ 169–2001. Нормы пожарной безопасности. Самоспасатели изолирующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний. – М., 2001.
8. Европейский стандарт EN 13794:2002. Автономные дыхательные устройства – Автономные дыхательные аппараты замкнутого цикла для самоспасения – требования, испытания, маркировка.
9. ОСТ 12.43.247–1983. Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ [Текст]. – Донецк : ВНИИГД, 1984. – 87 с.
10. Купчинский, П.Д. Работа противогаса и его расчет / П.Д. Купчинский ; под ред. А.Х. Мельникова. – М. : Издание Академии РККА им. К.Е. Ворошилова, 1937. – 102 с.
11. Дубинин, М.М. Адсорбция и пористость / М.М. Дубинин. – М. : Изд-во ВАХЗ, 1972. – 128 с.
12. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 4-е изд. – М. : Машиностроение, 2001.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОНОМНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ ....	4
1.1. Классификация индивидуальных автономных дыхательных аппаратов .....	4
1.2. Принципиальные схемы автономных изолирующих дыхательных аппаратов .....	9
2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГАЗО-, ТЕПЛО-, ВЛАГООБМЕНА И ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА	28
2.1. Физиологические основы дыхания человека .....	28
2.2. Процессы газо-, тепло- и влагообмена, происходящие в легких человека .....	30
2.3. Модель внешнего дыхания человека .....	32
3. ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТОКСИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ И ИЗОЛЯЦИИ СИСТЕМЫ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	41
3.1. Состав воздуха в рабочей зоне и в чрезвычайных ситуациях .....	41
3.2. Анализ номенклатуры поражающих токсичных факторов и специфика их воздействия .....	44
3.3. Коэффициент защиты изолирующего дыхательного аппарата и его зависимость от степени изоляции системы .....	53
4. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ И УСЛОВИЯМ ДЫХАНИЯ .....	55
4.1. Требования к составу газовойоздушной смеси в изолирующих дыхательных аппаратах .....	55
4.2. Нормирование физиолого-гигиенических параметров изолирующих дыхательных аппаратов .....	60
5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КИСЛОРОДОПИТАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ .....	64
5.1. Краткие сведения о сорбционных процессах и сорбентах .....	64
5.2. Кислородсодержащий продукт .....	68
5.3. Основные типы регенеративных продуктов .....	73
5.4. Известковый поглотитель диоксида углерода .....	76
6. ОСНОВНЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....	78
6.1. Лицевые части изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом .....	78
6.2. Регенеративный патрон .....	90
6.3. Дыхательные мешки изолирующих дыхательных аппаратов .....	98
6.4. Элементы изолирующих дыхательных аппаратов из полимерных материалов .....	100
6.5. Теплообменники и холодильники. Способы кондиционирования воздуха в изолирующих дыхательных аппаратах .....	103
7. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОЛИРУЮЩИМ ДЫХАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ ...	106
7.1. Требования к конструкции, показателям назначения и эргономики .....	106
7.2. Методы испытаний .....	116
8. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУИРОВАНИЮ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, СВЯЗЬ КОНСТРУК-	127

ЦИИ С ОБЛАСТЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ .....	
8.1. Задача проектирования изолирующих дыхательных аппаратов .....	127
8.2. Этапы проектирования .....	127
8.3. Структурный и параметрический синтез аппарата .....	130
8.4. Исследовательские работы при проектировании дыхательного аппарата .....	131
8.5. Требования, предъявляемые к конструкции индивидуальных дыхательных аппаратов .....	133
8.6. Нормативные документы, используемые при проектировании .....	136
8.7. Задачи и методы конструирования .....	136
8.8. Приемы конструирования .....	141
8.9. Автоматизированное проектирование .....	152
8.10. Современная технология изготовления изолирующих дыхательных аппаратов, его комплектующих и составных частей .....	158
9. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....	166
9.1. Самоспасатели для гражданского населения .....	166
9.2. Средства индивидуальной защиты органов дыхания для персонала промышленных предприятий .....	172
9.3. Средства защиты органов дыхания для шахтеров .....	175
9.4. Самоспасатели для космонавтов .....	178
9.5. Изолирующий дыхательный аппарат со сбалансированной регенерацией .....	181
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	185
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	186