**Глава 1**

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА**

**§ 1.1. Общие свойства атмосферы земли как среды обитания для экипажей летательных аппаратов**

Исследование атмосферы Земли и околоземного космического пространства с помощью спутников, космических ракет и кораблей позволило получить новые данные о физическом и химическом составе атмосферы, распределении температуры по высотам и космической радиации. Сейчас установлено, что атмосфера Земли простирается до высот 2000—3000 *км*, в отличие от прежнего представления, когда считали, что ее граница проходит на высоте около 1000 *км.* Вес земной атмосферы составляет величину порядка 5,145 · 1015 *T*, причем 90—94% всей массы воздуха сосредоточено в толще до 20 *км* от поверхности Земли. Если бы плотность газов атмосферы была постоянной на всех высотах, равной плотности у поверхности Земли, то ее верхняя граница находилась бы на высоте 7,8 *км.*

Многочисленные явления в газообразной оболочке Земли показывают, что атмосфера имеет ясно выраженное слоистое строение. Слои различаются между собой составом основных газов, распределением по высоте температуры, давления и плотности, а также степенью ионизации.

По составу воздуха атмосфера делится на две сферы: гомосферу и гетеросферу.

По характеру распределения температуры по вертикали атмосферу принято делить на пять основных сфер: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.

Рассмотрим основные характеристики указанных слоев (сфер) атмосферы.

**Гомосфера** (однородный) — слой атмосферы от поверхности Земли до высоты 80—100 *км*, в котором объемный состав воздуха по кислороду (21%) и азоту (78%) остается практически неизменным.

Количество водяного пара и углекислого газа с высотой уменьшается. Содержание озона, играющего важную роль в тепловом  {5}  балансе атмосферы, с высотой возрастает. Концентрация озона достигает максимума в слое на высотах 25—30 *км.* Озон является биологическим экраном, защищающим Землю и ее тропосферу от действия ультрафиолетовых лучей Солнца длиной 2000—3000А (ангстрем), пагубно влияющих на жизнь.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Содержание | O2 | N2 | Ar | CO2 | H2 | Другие инертные газы |
| По объему, % | 20,98 | 78,03 | 0,94 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| По весу, % | 23,10 | 75,55 | 1,30 | 0,05 | — | — |

**Гетеросфера** (неоднородный) — слой атмосферы выше 100 км над поверхностью Земли, в котором состав и молекулярный вес воздуха изменяются с высотой. В гетеросфере составные части атмосферы находятся в атомарном состоянии: на высоте 120 *км* диссоциирован почти весь кислород, а на высоте 220 *км* и более почти весь азот.

**Тропосфера** (прилегающий слой) — самый нижний слой атмосферы, содержащий до 80% всей массы воздушной оболочки Земли и до 90% ее водяных паров. Высота его верхней границы колеблется в зависимости от широты места и времени года (8–10 *км* над полярными областями, 10–12 *км* над средними широтами, 16–18 *км* над тропиками). В тропосфере температура убывает в среднем на 6,5° на 1 *км* (вертикальный градиент температуры). В ней происходят процессы, формирующие погоду на Земле (перемешивание воздуха, конденсация водяных паров, образование облачности, выпадение осадков, обледенение, грозы). Верхней границей этого слоя атмосферы является тропопауза, где наблюдается прекращение снижения температуры.

**Стратосфера** (слой над тропосферой) — слой атмосферы от верхнего слоя тропосферы до высот 50—55 *км*, в котором температура почти постоянна (в среднем минус 56°С). В стратосфере содержится около 20% всей массы атмосферы. Воздух в стратосфере сухой и прозрачный. В нижних слоях возможны струйные течения. В верхних слоях стратосферы, начиная с высот 30–33 *км*, наблюдается повышение температуры из-за наличия слоя озона с –56,5 до 0°С на высотах 50–55 *км.* Верхней границей этого слоя атмосферы является стратопауза, где прекращается рост температуры.

**Мезосфера** (средний слой) — слой атмосферы, простирающийся с высоты 50–55 до 80 *км.* Температура в нем понижается на 3–4° на 1 *км* высоты. На высоте 80 *км* температура достигает –110°С, На долю мезосферы приходится не более 0,3% всей  {6}  массы атмосферы. Данный слой атмосферы ограничивается мезопаузой.

**Термосфера** (тепловой слой) — слой атмосферы, простирающийся с высоты 80 до 800 *км* над поверхностью Земли. Он характеризуется непрерывным ростом температуры с градиентом 3–8°

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-FGL14A.png |
| Рис. 1.1. Изменение температуры атмосферного воздуха по высотам |

на 1 *км* высоты. На долю термосферы приходится менее 0,05% всей массы атмосферы.

**Экзосфера** (сфера рассеяния) — слой выше 800 *км.* Он характеризуется значительным увеличением температуры с высотой (до 2000°С). В этом слое уменьшается концентрация ионизированных частиц, он является переходным слоем к межпланетному нейтральному газу. Высокая температура (800–2000°С) в термосфере и экзосфере, однако, не вызывает осложнений для полетов летательных аппаратов, так как в сильно разреженной атмосфере коэффициент теплопередачи практически равен нулю. Температура на указанных высотах оценивается по средней скорости теплового движения частиц газа (так называемая кинетическая температура).

**Кинетическая температура** — температура, которую должен иметь газ при давлении 1 *атм*, для того чтобы его частицы обладали той же кинетической энергией, что и разреженный газ в верхних слоях атмосферы. Кинетическая температура оценивается по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *T* = | *mV*2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-jXbxLu.png  3K | , | | (1.1) |

где *T* — абсолютная кинетическая температура газа [°К];

*m* — масса частицы газа [*кГ · сек*2/*м*];

К — постоянная Больцмана, равная 1,38 · 10–24 [*кГ · м*/*град*];

*V* — скорость движения частицы газа [*м*/*сек*].

Распределение температуры в указанных слоях в зависимости от высоты приведено на рис. 1.1. Основные характеристики слоев даны в табл, 1.2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-o0TIde.png | {7} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-z_ZRrS.png |

Таблица 1.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Слой атмосферы | Граница по высо- те, *км* | Вертикальный градиент тем- пературы, *град/км* | Темпера- тура, °К | Состав атмосферы | | % массы воздуха | | % объема воздуха | |
| Тропосфера | 0-11 | 6,5 | — | Азотно- кислород- ный | | 79 | | 0,3 | |
| Тропопауза | 11 | 0 | 216,5 | То же | | — | | — | |
| Страто- сфера | 11—50 | 3,0 (25—50 *км*) | — | » | | ⎫ ⎪ ⎬ ⎪ ⎭ | 20 | 2 | |
| Страто- пауза | 50 | 0 | 273 | » | |
| Мезосфера | 50—80 | 4,5 (50—80 *км*) | — | » | |
| Мезопауза | 80 | 0 | 165,5 | » | | — | | — | |
| Термосфера | 80–800 | 4,5 (90–100 *км*) | — | ⎫ ⎪ ⎬ ⎪ ⎭ | Атомар- ный кис- лород и азот | ⎫ ⎪ ⎬ ⎪ ⎭ | 1 | ⎫ ⎪ ⎬ ⎪ ⎭ | 97 |
| 20 (100–160 *км*) | — |
| 10 (160–170 *км*) | — |
| 5 (170–200 *км*) | 2000 |
| Экзосфера | 800–3000 | — | — | Атомарный азот | | — | | — | |

Основными параметрами, характеризующими атмосферу Земли как среду обитания, являются: парциальное давление кислорода *р*O2, атмосферное давление *рH*, плотность ρ*H*, температура *TH*, относительная влажность воздуха *rH* и чистота воздуха.

С изменением высоты указанные физические параметры атмосферы изменяются в широких пределах (см. приложение *1*).

Для пояснения принципа построения систем кислородного питания экипажей важно знать изменение барометрического давления лишь до высоты приблизительно 20 *км.* На рис. 1.2 приведен график изменения давления *рH* в зависимости от высоты с указанием характеристик точек, соответствующих высотам 3 000, 10 000, 12 000 и 20 000 *м*.

С изменением высоты также меняется средняя относительная влажность воздуха. Согласно графику, приведенному на рис. 1.3, уже на высоте 12 *км* воздух практически является сухим. Кривая на рис. 1.3 иллюстрирует примерное распределение влажности на больших высотах для средних северных широт.

Кроме газов и влаги, атмосфера содержит взвешенные твердые частицы в виде пыли как органического, так и неорганического  {8}  происхождения, попадающей в атмосферу в основном с поверхности Земли. Чистота воздуха может быть косвенно охарактеризована

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-qoTknh.png |
| Рис. 1.2. Изменение давления атмосферного воздуха по высотам |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-yvshbu.png |
| Рис. 1.3. Изменение средней относительной влажности воздуха по высотам |

его электропроводностью. Чем чище воздух, тем выше его электропроводность, тем больше в нем содержится подвижных  {9}  атмосферных ионов (аэроионов) обоих знаков. При наличии пыли и дыма в воздухе будут находиться как легкие, так и тяжелые аэроионы, которые образуются в результате оседания легких аэроионов на частицах пыли. Степень загрязнения воздуха пылью можно определить отношением числа тяжелых к числу легких аэроионов в единице объема воздуха. На организм человека благоприятное влияние оказывают, как правило, отрицательные аэроионы. С высотой количество пыли уменьшается, на высоте 7—8 *км* она практически отсутствует.

При полетах в верхних слоях атмосферы и в околоземном космическом пространстве, кроме перечисленных выше факторов,

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xEYEnA.png |
| **Рис.** 1.4. Расположение радиационных поясов вокруг Земли |

реальную опасность для экипажа летательного аппарата представляют космические лучи, а также радиационные пояса Земли.

Первичные космические частицы (космическая радиация галактического происхождения) представляют собой ядра атомов различных химических элементов.

В состав первичных космических лучей входят ядра атомов водорода — протоны (80%), ядра атомов гелия — α-частицы (19%) и тяжелые ядра металлов (до 1%).

Первичные космические частицы обладают огромной энергией — до 10 *Мэв* (миллионов электронвольт) и большой ионизирующей способностью.

Солнечная радиация представляет собой поток лучистой энергии Солнца. Ультрафиолетовая радиация Солнца увеличивается в среднем на 3—4% на каждые 100 *м* увеличения высоты. Различают два класса солнечного излучения: с высокой и низкой энергией (табл. 1.3).

Исследования последних лет позволили обнаружить и определить приближенные границы двух радиационных поясов,  {10}  расположенных один над другим (рис. 1.4). Максимальная толщина поясов, имеющих вид концентрических тороидов, наблюдается в экваториальных широтах, к полюсам Земли она сужается почти до нуля.

Радиационные пояса Земли представляют собой скопление заряженных частиц, удерживаемых магнитным полем Земли. Заряженные частицы образуются вследствие вторичных ядерных превращений, обусловленных первичными космическими излучениями. Основные характеристики указанных ионизирующих излучений даны в табл. 1.3.

**§ 1.2. Комплекс факторов, оказывающих влияние на жизнедеятельность экипажа в условиях высотного полета**

Для того чтобы правильно понять и учесть влияние факторов высотного полета на организм человека, рассмотрим вначале некоторые физиологические показатели человека, характеризующие его жизнедеятельность. Знание этих показателей организма человека позволяет наиболее полно сформулировать физиолого-гигиенические требования к системам обеспечения жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов.

**Дыхание и кровообращение.** В результате обмена веществ в клетках организма и в крови происходит процесс постоянного образования углекислого газа и расходования кислорода. Жизненный процесс поддержания газообмена между окружающей средой и человеком осуществляется дыханием и кровообращением.

Дыхание человека делится на внешнее и внутреннее. Внешнее дыхание определяет газообмен между окружающим воздухом и  {11}  кровью человека. Внутреннее дыхание обусловливает обмен газов в крови и тканях человека.

При внешнем дыхании воздух, вдыхаемый человеком, проходит через верхние дыхательные пути (нос или рот, гортань и трахею), затем через бронхи и, распространяясь по бронхиолам, попадает в легкие, состоящие из множества маленьких пузырьков — альвеол. Тонкие стенки альвеол обвиты густой сетью капиллярных сосудов с настолько малым диаметром, что красные кровяные тельца — эритроциты — могут проходить через них только поодиночке. Через стенки альвеол по законам диффузии происходит обмен газов между легкими и кровью.

При внутреннем дыхании процесс газообмена в крови и тканях организма происходит следующим образом. Согласно схеме кровообращения, показанной на рис. 1.5, насыщенная кислородом кровь при работе сердца поступает в левое предсердие и оттуда в левый желудочек сердца, а затем под действием сокращения сердечной мышцы желудочка артериальная кровь поступает в аорту и по сети артерий доходит до капилляров тканей организма, где кислород по законам диффузии переходит из крови в ткани.

В результате обмена веществ в клетках организма артериальная кровь превращается в венозную кровь, обогащенную углекислым газом. Венозная кровь из капилляров, соединяющихся в вены, поступает в правое предсердие. Рассмотренный путь крови называется большим кругом кровообращения.

Перешедшая из правого предсердия в правый желудочек сердца кровь поступает по легочным артериям в легкие и оттуда, обогатившись кислородом, по легочной вене возвращается опять в левое предсердие. Такое движение крови происходит по малому кругу кровообращения.

Непосредственным переносчиком кислорода крови являются эритроциты, содержащие в себе гемоглобин Hb, обладающий способностью легко соединяться с кислородом, образуя неустойчивое химическое вещество — оксигемоглобин НbO2. Оксигемоглобин в крови распадается и, отдавая тканям кислород, опять становится гемоглобином.

Эритроциты составляют 41—46% объема крови и представляют собой плоские диски диаметром 0,007 *мм*, их количество равно 2,5 · 1012 в общем количестве крови человека, которое равно приблизительно 5 *л.*

Скорость крови поддерживается на нужном уровне работой сердца, перекачивающего около 250 *л* крови в час.

Таким образом, вся циркулирующая в теле человека кровь проходит через легкие за 72 *сек.* Рассмотренный процесс газообмена в организме человека определяется величиной парциального давления кислорода в газовой среде (парциальное давление — давление, приходящееся на какую-либо компоненту газовой смеси — воздуха).

Парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе с учетом  {12}  упругости водяных паров в трахее человека определяется следующей формулой:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *p*O2 = αO2 | *p*H – *p*H2O  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-l23Ut2.png  100 | , | | (1.2) |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WLRqOZ.png |
| **Рис. 1.5.** Схема кровообращения и газообмена в организме человека |

где αO2 — процентное содержание кислорода в атмосфере;

*рH* — барометрическое давление, *мм рт. ст.*;

*p*H2O = 47 *мм рт. ст.* — парциальное давление водяных паров в трахее (при температуре 37°С).  {13}

При нормальных условиях αO2 = 21% и *p*O2 = 150 *мм рт. ст.*

Парциальное давление кислорода в альвеолах легких рассчитывается по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *p*'O2 = α'O2 | *p*H – *p*H2O  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-mREVwT.png  100 | , | | (1.3) |

где α'O2 — процентное содержание кислорода в альвеолах легких, зависящее от физической нагрузки человека.

При нормальных условиях *p*'O2 = 105–110 *мм рт. ст.*

Процесс усвоения организмом кислорода происходит по закону диффузии, т. е. лишь в том случае, если парциальное давление кислорода во вдыхаемом (или альвеолярном) воздухе больше парциального давления кислорода в венозной крови, притекающей по капиллярным кровеносным сосудам к альвеолярным стенкам легких. Для удаления углекислого газа из организма необходимо иметь обратное соотношение парциальных давлений углекислого газа.

Нормальный газообмен человека с окружающей средой обитания характеризуется приведенными в табл. 1.4 значениями парциальных давлений кислорода O2 и углекислого газа CO2.

Таблица 1.4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты, участвующие в газовом обмене | *p*O2, *мм рт. ст.* | *p*CO2, *мм. рт. ст.* | αO2, % объема | αCO2, % объема |
| Вдыхаемый воздух (трахеальный) ... | 150 | 0,23 | 20,95 | 0,03 |
| Альвеолярный воздух | 105—110 | 40 | 14,00 | 5,6 |
| Артериальная кровь . . | 90—98 | 35—39 | 18,5—20 | 43—53 |
| Венозная кровь . . . . | 40—60 | 42—46 | 8—18 | 45—60 |
| Ткани . . . . | 10—20 | 55—60 | — | — |

Примечание. Атмосферное давление 760 *мм рт. ст.*

Поступление воздуха в легкие и удаление его из них обусловливаются механическими движениями грудной клетки, межреберных мышц и грудобрюшной диафрагмы. В обычных условиях человек делает 15—20 вдохов в минуту.

При нормальном вдохе объем вдыхаемого воздуха приблизительно равен 0,5—0,6 *л*. При усиленном вдохе, следующем после нормального вдоха, дополнительно вводится в легкие до 1,5 *л* воздуха; кроме того, в легких всегда имеется резервный воздух. Общая сумма составляющих объемов определяет жизненную емкость легких (0,5—0,6 *л* — нормальный вдох; 1,5—2,5 *л* — усиленный вдох; 1,0—2,9 *л* — резервный воздух), которая приблизительно равна Vл ≈ 3,6 *л*.  {14}

Объемный расход воздуха в единицу времени *W*л принято называть легочной вентиляцией. Ориентировочные значения легочной вентиляции, частоты и глубины дыхания, а также выделений продуктов дыхания в зависимости от физической нагрузки и человека приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Физическая нагрузка | Легочная вентиляция *л/мин* | Частота дыхания *вдохов/мин* | Глубина дыхания *л* | Поглоще- ние кис- лорода *л/час* | Выделение продуктов дыхания | | |
| H2O, *г/час* | CO2, *л/час* | тепло, *ккал/час* |
| Покой .... | 7,5 | 15 | 0,5 | 15 | 35 | 10 | 60 |
| Средняя .... | 30 | 20 | 1,5 | 25 | 50 | 20 | 130 |
| Тяжелая . . . | 45 | — | — | 50 | 75 | 45 | 250 |

Изменение частоты и глубины дыхания, иначе регуляция дыхания, происходит под действием внешних или внутренних возбуждающих сигналов, поступающих через центральную нервную систему организма человека к дыхательному мозговому центру.

В живом организме наблюдаются две регуляции дыхания — рефлекторная и химическая. Рефлекторная регуляция дыхания обусловливается внешними факторами в виде внезапных толчков, ударов, резкого звука и др. Внешние факторы возбуждают нервные окончания (рецепторы) и через центральную нервную систему — дыхательный центр; последний посылает управляющий сигнал к двигательным межреберным мышцам. Под действием импульса изменяется частота и амплитуда сокращения двигательных межреберных мышц. При химическом регуляции дыхания возбудителем дыхательного центра является углекислота. С увеличением физической нагрузки количество углекислого газа СO2 в крови человека возрастает. В итоге происходит возбуждение дыхательного центра и, как следствие, изменяются частота и амплитуда сокращений двигательных межреберных мышц.

**Зрение.** Органы зрения человека являются самым тонким и совершенным анализатором пространственной ориентации. Основными функциями зрительного анализатора являются:

1. Светочувствительная функция, которая обеспечивает распознавание формы, цвета и размера предмета. Светочувствительным рецептором глаза являются палочки и колбочки, состоящие из светочувствительного материала. Колбочки распознают цвет и детали предмета в дневное время и поэтому являются дневным рецептором. Ночным рецептором, являются палочки, которые не обладают способностью определять цвет предмета. Под влиянием световой энергии в палочках и колбочках происходят фотохимические реакции, которые дают начало импульсам, идущим  {15}  через проводниковую часть зрительного анализатора к его центральному корковому отделу.

2. Аккомодация — способность глаза ясно различать предметы, находящиеся на разном удалении от глаза.

С возрастом аккомодация глаза понижается, вследствие чего минимальное расстояние фокусировки для рассматриваемого предмета увеличивается (табл. 1.6). Сила аккомодации выражается в диоптриях, которая является обратной величиной минимального расстояния фокусировки, выраженного в метрах.

Таблица 1.6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Возраст | 10 | 20 | 35 | 40 | 45 | 60 | 75 |
| Среднее минимальное расстояние фокуси- ровки, *мм* | 70 | 100 | 170 | 220 | 330 | 1000 | — |

Скорость аккомодации определяется временем перевода взгляда с одного предмета на другой, которые находятся на различном расстоянии от глаза. Примерные величины скорости аккомодации в зависимости от расстояния до предметов даны в табл. 1.7.

Таблица 1.7

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Расстояние до предмета, *м* | | Скорость аккомодации при переводе взгляда, *сек* | |
| ближнего | дальнего | от дальнего | от ближнего |
| 0,1 | 18 | 1,18 | 0,84 |
| 0,16 | 18 | 0,64 | 0,46 |
| 0,4 | 18 | 0,3 | 0,29 |
| 0,64 | 18 | 0,2 | 0,15 |

3. Адаптация — изменение чувствительности глаза от воздействия на него световых раздражителей. Для приспособления глаза к темноте необходимо не менее 18—20 *мин.* Практически адаптация происходит за меньший промежуток времени. Человек после взгляда на яркий свет уже примерно через 6 *сек* может в темноте различать предметы.

4. Острота зрения — способность глаза различать детали предметов. Острота зрения зависит от уровня освещенности. При  {16}  пониженной остроте зрения необходима большая освещенность. Для лиц с нормальным зрением освещенность должна быть в пределах 100—300 *лк* (люкс), а с пониженным зрением должна быть порядка 320—400 *лк.* Острота зрения дает возможность судить о пространственном соотношении предметов. Острота зрения оценивается минимальным углом, при котором две точки еще воспринимаются раздельно. Угол зрения, равный одной угловой минуте, соответствует остроте зрения, равной единице.

5. Поле зрения — предельный угол обзора окружающего пространства в зависимости от направления движения глаз. Количественная оценка поля зрения в угловых градусах приведена в табл. 1.8.

Таблица 1.8

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Направление движения глазного яблока | Вверх | Наружу | Вниз | Внутрь |
| Предельный угол от- клонения, *град* . . . | 37 | 43,5 | 53 | 46 |
| Предельный угол обзо- ра, *град* | 50—60 | 94—105 | 70—75 | 60-62 |

Слух. Органы слуха человека способны воспринимать звуки разной интенсивности и определять направление источника звука. Пределы слуха для человека лежат в диапазоне звуковых частот 16—20000 *гц* (герц). Весь диапазон слышимых звуков содержит примерно 10 октав (когда частота меняется вдвое). Восприятие интенсивности звука зависит от звукового давления. Звуковое давление — это разность давлений между непрерывно меняющимся фактическим давлением под действием звуковой волны и постоянным атмосферным давлением. Физическая величина его характеризуется давлением, оказываемым звуковой волной на барабанную перепонку уха. Величина звукового давления для пороговой слышимости равна *р*0 = 2 · 10–4 *бар.* Уровень звукового давления измеряется в децибелах и может быть определен по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *L* = 20 lg | *p*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BC_zAb.png  *р*0 | , | | (1.4) |

где *р* — измеряемое звуковое давление, *бар*;

*р*0 — звуковое давление на пороге слышимости в области средних частот, *бар.*

Оценка органов слуха человека может быть произведена по величине потери слуха, выражаемой в децибелах (табл. 1.9).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-F8FT1p.png | {17} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-HcFA0q.png |

Таблица 1.9

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Потеря слуха, *дб* | Расстояние, *м* | | | |
| Обычный шепот | Тихая речь | Голос средней силы | Громкий голос |
| 0 | 12 | 67 | 376 | 2120 |
| 10 | 3,8 | 21 | 118 | 667 |
| 20 | 1,2 | 6,7 | 38 | 212 |
| 30 | 0,38 | 2,1 | 12 | 67 |
| 40 | 0,12 | 0,67 | 3,8 | 21 |
| 50 | 0,038 | 0,21 | 1,2 | 6,7 |
| 60 | — | 0,067 | 0,38 | 2,1 |
| 70 | — | 0,021 | 0,12 | 0,67 |
| 80 | — | — | 0,038 | 0,21 |
| 90 | — | — | — | 0,067 |

Для пространственной ориентации человека имеет существенное значение чувствительность вестибулярного аппарата, который расположен в области внутреннего уха. Вестибулярный аппарат является подобием отвеса или уровня. Повышенная вестибулярная чувствительность может быть причиной появления иллюзорных представлений о положении тела в пространстве и о расположении предметов в герметической кабине самолета.

Рассмотрим теперь влияние указанных выше факторов высотного полета на физиологические показатели человека.

**Атмосферное пространство как среда обитания.** При высотном полете атмосферное пространство как среда обитания оценивается следующими основными физическими параметрами; парциальным давлением кислорода *p*O2, абсолютным давлением *рH*, температурой *TH*, относительной влажностью воздуха *rH*, проникающим излучением.

Влияние парциального давления кислорода. Несмотря на то что процентное содержание кислорода в атмосфере остается практически неизменным, уже с высоты 2,5 *км* организм человека начинает ощущать недостаток кислорода во вдыхаемом воздухе. Указанное явление обусловлено тем, что для дыхания важно не процентное содержание кислорода, а его парциальное давление.

Графики парциальных давлений кислорода во вдыхаемом воздухе *p*O2 и в альвеолярном воздухе *p'*O2, подсчитанные по формулам (1.2) и (1.3), даны на рис. 1.6. Исходные данные взяты из табл. 1.10 парциального давления и процентного содержания газов в трахее и альвеолах легких человека на различных высотах при дыхании атмосферным воздухом.

Из графиков на рис. 1.6 следует, что с ростом высоты парциальное давление кислорода падает, давление водяных паров все время остается постоянным на уровне 47 *мм рт. ст.*, а парциальное

Таблица 1.10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Высота, *м* | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1000 | 2000 | 3000 | | 4000 | | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 10000 | 11000 | | 12000 |
| Атмосферное да- вление, *мм рт. ст.* | 760 | 674 | 596 | 526 | | 462 | | 405 | 354 | 308 | 267 | 230 | 198 | 169 | | 145 |
| *p*O2 во вдыхаемом сухом воздухе, *мм рт. ст.* | 159 | 142 | 125 | 110 | | 97 | | 85 | 74 | 65 | 56 | 48 | 41 | 35 | | 30 |
| *p*O2 во вдыхаемом влажном воздухе, *мм рт. ст.* | 149 | 132 | 115 | 100 | | 87 | | 75 | 64 | 55 | 46 | 38 | 31 | 25 | | 20 |
| *p*O2 в альвеоляр- ном воздухе, *мм рт. ст.* | 105 | 90 | 73 | 64 | | 47,5 | | 43 | 37 | 35 | 28 | 23 | 18 | 12 | | 7 |
| *p*CO2 в альвеоляр- ном воздухе, *мм рт. ст.* | 40 | — | 36,5 | — | | 32,5 | | 29 | 28 | 27 | 24 | 24 | 22 | — | | — |
| Насыщение крови кислородом, % | 98 | 97 | 94 | 92 | | 85 | | 80 | 76 | 68 | 60 | 40 | 29 | 15 | | 8 |
| *p*O2 в артериаль- ной крови, *мм рт. ст.* | 94–97 | — | — | — | | 54–60 | | — | 42–47 | — | 30–33 | — | — | — | | — |
| *p*O2 в венозной крови, *мм рт. ст.* | 40–60 | — | — | — | | 36–45 | | — | 29–35 | — | 23–27 | — | — | — | | — |
|  | | | | |  | |  | | | | | | | |  | |

давление углекислого газа в альвеолярном воздухе составляет около 35 *мм рт. ст.*

При определенном минимальном значении парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе нарушается нормальный газообмен в легких человека и во всем организме. В результате на определенной высоте наступает в организме человека явление гипоксии (кислородного голодания).

На основании физиологических исследований установлено, что парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-UpAS5o.png |
| Рис. 1.6. Изменение парциального кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе по высотам |

порядка 60 *мм рт. ст.* является минимально допустимым, при котором кровь еще насыщается кислородом (табл. 1.10). На графике (рис. 1.6) этому парциальному давлению кислорода соответствует высота 2,9 *км.* На высотах более 2,9 *км* в организме человека, не тренированного к высотным полетам, могут происходить функциональные расстройства, связанные с явлением гипоксии.

Явление гипоксии, или кислородной недостаточности, в организме человека проявляется самым различным образом. Человек вначале испытывает общее недомогание, затем наблюдается состояние моральной и физической апатии. Ухудшается деятельность органов зрения и слуха, понижается световая чувствительность глаз и ухудшается острота зрения, появляется шум в ушах, учащается пульс и частота дыхания. Длительное кислородное голодание приводит к потере сознания и может привести к смерти.

Характерной особенностью гипоксии является то, что все отмеченные функциональные расстройства протекают в организме незаметно, человек не испытывает серьезных страданий, лишь ощущает полное безразличие к окружающей действительности. Он чаще всего не осознает того тяжелого состояния, в котором находится вплоть до потери сознания. В других случаях при гипоксии ослабляются нормальные функции коры головного мозга и начинают преобладать процессы возбуждения, вследствие чего человек приходит в состояние беспричинной веселости — эйфории, за которой может последовать внезапный обморок.

Влияние пониженного барометрического давления. Сильное понижение барометрического давления также оказывает существенное влияние на жизнедеятельность человека. Необходимое количество кислорода в крови растворяется лишь  {20}  при определенном барометрическом давлении. Если давление недостаточно, то даже дыхание чистым кислородом не обеспечивает полной потребности в нем организма.

При вынужденной разгерметизации кабины летательного аппарата на высоте, превышающей 12 *км*, экипаж попадает в условия жесточайшего кислородного голодания. При дыхании чистым кислородом под давлением, соответствующим высоте разгерметизации, через несколько секунд после разгерметизации кабины человек теряет сознание. Время, в течение которого человек сохраняет сознание (при указанных условиях) и может принять меры к спасению, называется резервным временем. Средние значения резервного времени для различных высот приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота, *км* | Давление *рH*, *мм рт.ст.* | Перепад дав- ления *р*0/*рH* | Резерв времени при дыхании, *сек* | |
| воздухом | кислородом |
| 6 | 354 | 2,14 | 480—900 | — |
| 7 | 308 | 2,47 | 240—300 | — |
| 7,5 | 287 | 2,65 | 240 | — |
| 8 | 267 | 2,84 | 120—180 | — |
| 9 | 230 | 3,3 | 60—120 | — |
| 10 | 193 | 3,84 | 40—60 | — |
| 11 | 170 | 4,46 | 35—40 | — |
| 12 | 145 | 5,24 | 25—30 | — |
| 13 | 124 | 6,13 | — | 300 |
| 13,5 | 114 | 6,63 | — | 65—110 |
| 14 | 106 | 7,16 | 20 | 47—50 |
| 14,5 | 97,5 | 7,79 | — | 25—30 |
| 15 | 90 | 8,18 | 15 | 19 |
| 15,5 | 83,4 | 9,11 | — | 17 |
| 16 | 77 | 9,87 | 9 | 15 |
| 18 | 56 | 13,55 | — | 13 |

Помимо указанного, пониженное барометрическое давление является причиной появления расстройств функций дыхания и сердечно-сосудистой системы организма человека.

Если барометрическое давление станет меньше 230 *мм рт. ст.*, то возможно выделение из жидкостей организма пузырьков (эмбол) свободного газа, состоящего из азота (75—80%), кислорода (15—18%) и углекислого газа (2—10%). Эти пузырьки раздражают нервные окончания клеток, вызывая в тканях и суставах зуд и боль. Чем меньше окружающее давление, тем больше будет выделяться эмбол. Данное явление принято называть аэроэмболизмом.

При барометрическом давлении порядка 90 *мм рт. ст.* прекращаются дыхательные функции. При барометрическом давлении менее 47 *мм рт. ст.*, что соответствует высоте полета 19 000 *м*,  {21}  наблюдается закипание подкожной жидкости (явление эмфиземы).

Влияние температуры и влажности воздуха. Физиологически нейтральная температура находится примерно на уровне 20°С. Допустимый диапазон изменения температуры вблизи рабочего места оператора принимается равным 18—24°С. Если температура вблизи рабочего места повысится на 10°С по сравнению с нормальной температурой, то количество ошибок в работе оператора возрастет примерно в два раза в течение часа.

Помимо указанного, как пониженная температура, так и повышенная приводит к неприятным ощущениям, переходящим к стойким нарушениям. В табл. 1.12 приводится ориентировочная оценка влияния тепла и холода на организм человека. Длительное воздействие холода и жары приводит к пагубным последствиям.

Таблица 1.12

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура, °С | Последствие | Переносимость по времени | Симптомы | Реакция организма |
| 120 | Ожоги | От секунд до минут | Боли | Предельная нагрузка |
| 95 | Коллапс (потеря соз- нания) | От минут до часов | Голово- кружение |  |
| 50 | Изнурение | От часов до дней | Усталость | Расширение сосудов, пот |
| 21 | Комфорт | Без ограни- чений | Никаких | — |
| 7 | Изнурение | От дней до часов | Чувство холода | Озноб |
| 4–5 (в воде) | Окоченение | От часов до минут | Окоченелость | Озноб |
| –55 (в метал- лической обо- лочке) | Обморожение | От минут до секунд | Боли | Предельная нагрузка |

При попадании в холодную воду человеку грозит переохлаждение. При температуре воды 0°С через 20—25 *мин* наступает явление холодового шока с потерей сознания. Даже при температуре воды порядка 15°С через 5—6 *час* наблюдаются головные боли, сонливость, судороги и, наконец, потеря сознания.

Влажность воздуха также оказывает определенное воздействие на организм человека. При пониженной относительной влажности воздуха (менее 20%) появляется сухость в носоглотке и слизистой оболочке глаз, кожа становится восприимчивой к инфекции. При повышенной влажности воздуха (более 80%) человеческий  {22}  организм становится неспособным поддерживать нормальную температуру тела в условиях окружающей среды.

Влияние проникающего излучения на организм человека. Поражающее действие проникающей радиации заключается в способности ее проникать в живую ткань, кроветворные органы и красный костный мозг, производя ионизацию молекул и этим разрушая живые клетки организма. При воздействии ионизирующей радиации человек не испытывает ни боли, ни других каких-либо неприятных ощущений. Однако спустя некоторое время у человека появляются симптомы лучевой болезни. Основным фактором, определяющим степень поражающего действия ионизирующей радиации, являются мощность и доза поглощенного излучения.

Доза поглощенной радиации измеряется количеством энергии, поглощенной тканью. Энергия радиационного излучения оценивается его ионизирующими способностями. В качестве единиц измерения дозы радиации используются: рентген, рад и биологический эквивалент рентгена (бэр).

В рентгенах измеряют дозу радиации, когда рассматривается действие радиации на воздушную среду. Доза в 1 рентген соответствует такой энергии, которая создает 2,082 · 109 пар ионов в 1 *см*3 сухого воздуха, или 1,61 · 1012 пар ионов в 1 грамме воздуха при *T* = 273°К и *p* = 760 *мм рт. ст.*

Для образования одной пары ионов требуется энергия, равная 34 *эв* (электронвольт), а для образования 1,61 · 1012 пар ионов потребуется

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 34 *эв* · 1,61 · 1012 | *пар ионов*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-_XfxMu.png  *г* | · 1,6 · 10–12 | *эрг*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-B73EQ3.png  *эв* | = 87,7 | *эрг*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xY7vRC.png  *г* | . |

Таким образом, доза в 1 рентген соответствует энергии, равной 87,7 *эрг*/*г*.

Доза в 1 рад, или физический эквивалент рентгена, соответствует энергии, равной 100 *эрг*/*г*, но при поглощении ее не воздухом, а любой другой средой.

При оценке проникающего излучения, поглощенного живым организмом, учитывают не только поглощенную энергию, но и биологическую вредность радиации. Два одинаковых количества энергии могут оказывать разное биологическое воздействие на живой организм, если эти излучения создаются разными частицами.

Сравнение лроникающих излучений по их биологическому действию осуществляют с помощью коэффициента относительной биологической эффективности (ОБЭ). Последний равен отношению количества энергии данного излучения к количеству энергии γ-излучения, которые вызывают одинаковый биологический эффект воздействия на живые ткани. Значения ОБЭ для проникающих излучений некоторых видов приведены в табл. 1.13.

Дозу, поглощенную живой тканью, измеряют в бэрах. За 1 бэр принимают количество энергии излучения данного типа,

Таблица 1.13

|  |  |
| --- | --- |
| Вид излучения | ОБЭ |
| γ-лучи | 1 |
| β-частицы | 1 |
| α-частицы | 10 |
| Космическая радиация | 5 |

которое по биологическому действию эквивалентно 1 раду γ-излучения. Таким образом, если энергия данного излучения равна *N* рад, то для определения дозы в бэрах необходимо умножить число рад на ОБЭ, т. е.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *D*бэр = *N*рад · ОБЭ. | (1.5) |

В зависимости от принятой человеческим организмом дозы проникающего излучения может развиваться лучевая болезнь определенной степени.

Суммарная поглощенная доза проникающего излучения для человеческого организма не должна превышать 50 бэр. При накоплении человеческим организмом дозы в 50 бэр обычно не возникает никакого заболевания, поэтому при необходимости допускается указанная доза для человека в течение нескольких суток и до года.

Для предельно допустимой дозы проникающего излучения в бэрах устанавливаются предельные мощности доз различных видов излучения. Мощность дозы определяется как доза, полученная в единицу времени.

Например, для рентгеновского или γ-излучения при ОБЭ = 1 предельная мощность дозы устанавливается равной 100 *мрад/неделя*; для потока α-частиц при ОБЭ = 10 предельная мощность дозы устанавливается равной 10 *мрад/неделя.*

**Влияние на человеческий организм факторов, связанных с пребыванием экипажа в герметической кабине летательного аппарата.** Длительное пребывание экипажа в герметической кабине (ГК) обеспечивается путем создания искусственной среды обитания в ней, приближенной по своим физическим параметрам к земной атмосфере в ее нижних слоях. Определяющими физиолого-гигиеническими параметрами в ГК являются: барометрическое давление, температура и влажность воздуха, скорость изменения давления воздуха в кабине, а также состав воздуха и его чистота.

Рассмотрим влияние на человеческий организм трех последних физиолого-гигиенических параметров, характерных для среды обитания герметических кабин летательных аппаратов.

Влияние скорости изменения давления воздуха в кабине. Резкое изменение давления воздуха может  {24}  служить причиной возникновения у человека декомпрессионной болезни, сопровождающейся болевыми ощущениями в замкнутых и полузамкнутых полостях организма и расстройством сердечно-сосудистой системы.

Наиболее острое проявление декомпрессионной болезни возникает при резкой разгерметизации кабины, когда в кабине летательного аппарата до этого имелось избыточное давление. Декомпрессионная болезнь в этом случае характеризуется повреждением легких, внутренним кровоизлиянием, падением кровяного давления, замедлением деятельности сердца.

Резкое снижение давления в кабине принято называть взрывной декомпрессией.

Физиологическое значение взрывной декомпрессии обусловлено воздействием избыточного давления, возникающего в момент декомпрессии в органах, содержащих некоторое количество свободных газов (желудочно-кишечный тракт) или воздуха (легкие).

При внезапном быстром понижении давления в окружающей летчика среде имеющийся в легких воздух расширяется. Поскольку выход его из легких ограничен, возникает избыточное давление. Величина его различна и зависит от фазы дыхания, величины относительного расширения газов βотн, времени выравнивания давления (времени декомпрессии — τд) и от проходимости дыхательных путей (коэффициента утечки дыхательных путей).

Величина относительного расширения газов может быть оценена следующим образом:

а) если процесс выравнивания давления в кабине происходит за время τд > 0,5 *сек*, то

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | βотн = | *p*K0 – 47  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-OorTKa.png  *p*к – 47 | , | | (1.6) |

где *p*K0 — давление воздуха в кабине к моменту ее разгерметизации, *мм рт. ст.*;

*р*к — установившееся давление в кабине после ее разгерметизации, *мм рт. ст.*;

47 — парциальное давление водяного пара при температуре тела 37°С;

б) если процесс выравнивания давления в кабине происходит за время τд < 0,02 *сек*, то

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-V6l_9j.png | (1.7) |

где *n* — показатель политропы.

Для того чтобы предупредить при разгерметизации кабины возникновение избыточного давления в легких летчика, достаточно иметь максимальный коэффициент утечки воздуха из кабины (отношение площади отверстий к объему кабины) меньше наименьшего коэффициента утечки воздуха из дыхательных путей  {25}  человека. Коэффициент утечки дыхательных путей человеческого организма (отношение площади проходного сечения голосовой щели к объему легких) принимается равным (1/50 – 1/100) *м*2/*м*3. Наименьший коэффициент утечки дыхательных путей (1/100 *м*2/*м*3) принимается во внимание при βотн > 3. Наибольший коэффициент утечки дыхательных путей (1/50 *м*2/*м*3) следует учитывать при βотн < 3. При указанных условиях коэффициент утечки воздуха из кабины рассчитывается следующим образом:

а) если βотн > 3, то коэффициент утечки воздуха из кабины при 100% коэффициенте безопасности должен быть равен 1/(2 · 100) *м*2/*м*3;

б) если βотн < 3, то коэффициент утечки воздуха из кабины при разгерметизации кабины не должен превышать 1/50 *м*2/*м*3.

Оценим максимальную площадь проходного отверстия разгерметизации кабины объемом 80 *м*3, при котором можно избежать декомпрессионной болезни. Если самолет находится на высоте 12 *км*, а давление воздуха в кабине равно 674 *мм рт. ст.*, то при разгерметизации кабины βотн > 4. В этом случае площадь проходного отверстия разгерметизации не должна превышать 80 · 1/200 = 0,4 *м*2. Если же самолет летает на высотах до 9 *км*, то βотн = 2,9, а площадь проходного отверстия разгерметизации может быть равной 80 · 1/50 = 1,6 *м*2.

Влияние газообразных примесей. В процессе жизнедеятельности экипажа в герметической кабине непрерывно накапливаются некоторые газообразные примеси и в первую очередь углекислый газ, который биологически активен и накопление его в организме человека вызывает определенное нарушение жизнедеятельности. Повышение парциального давления углекислого газа до 7 *мм рт. ст.* практически мало влияет на жизнедеятельность. Однако при повышении парциального давления углекислого газа до 20 *мм рт. ст.* нарушается легочная вентиляция, отмечаются признаки отравления организма.

Влияние ионизированного воздуха. При анализе влияния искусственной среды обитания в кабине летательного аппарата на жизнедеятельность экипажа необходимо принимать во внимание также гигиенические свойства воздуха в кабине. Чистота воздуха может быть охарактеризована его электропроводностью. Чем чище воздух, тем значительней его электропроводность, тем больше содержится в нем атмосферных ионов (аэроионов) того или иного знака. Установлено, что аэроионы, в отличие от других физических факторов, действуют на организм человека в основном через органы дыхания. Характер действия аэроионов на организм определяется прежде всего знаком электрического заряда. Благоприятное  {26}  влияние на организм оказывают, как правило, аэроионы отрицательного знака, которые улучшают окислительно-восстановительные процессы в живом организме.

Гигиеническим критерием газовой среды является так называемый коэффициент униполярности, который определяется отношением числа положительных аэроионов (*n*+) к числу отрицательных аэроионов (*n*–). Коэффициент униполярности газовой среды, определяющей высокую жизнедеятельность организма, должен быть не больше единицы. Однако уровень аэроионизации (АИ) кабин существующих летательных аппаратов значительно отличается от нормального уровня АИ в естественных условиях. На уровни АИ кабин влияют: состояние атмосферной ионизации, светящиеся массы авиационных приборов, вентиляция кабин. Объективные физиологические исследования летчиков позволили установить характерные изменения в состоянии организма, выражающиеся в повышенной утомляемости при продолжительных полетах, когда уровень АИ превышает норму.

**Влияние на человеческий организм факторов, связанных с динамикой полета.** Во время полета экипаж подвергается воздействию шума, вибрации и перегрузок.

Влияние вибрации и шума. Одной из неприятных особенностей полета для экипажей летательных аппаратов являются шум и вибрация, которые могут достигать весьма значительных величин. Длительное пребывание человека в условиях шума может привести к возникновению болевых ощущений в ушах, к общему раздражению и утомлению. При длительных и повторных воздействиях шума на человека у него может наступить временная или постоянная потеря слуха. Субъективную оценку действия шума на человека в зависимости от уровня и частоты звука можно дать в виде следующего графика (рис. 1.7).

При воздействии вибрации могут возникнуть сосудистые и нервные расстройства, может снизиться умственная и физическая работоспособность, уменьшиться острота зрения, т. е. возможность различать показания приборов даже при нормальном освещении приборных досок. Пороговая чувствительность человека к вибрации дана в табл. 1.14.

Таблица 1.14

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика вибрации | Реакция человека |
| 75—120 *гц*, амплитуда 0,01 *мм* | Не ощущается |
| 60—75 *гц*, амплитуда 0,01—0,02 *мм* | Раздражает, временно отвлекает |
| 50—65 *гц*, амплитуда 0,02—0,03 *мм* | Отвлекает постоянно |
| 60—65 *гц*, амплитуда более 0,03 *мм* | Создает невозможные условия для работы |

Влияние перегрузок на организм человека. Для оценки действия внешних сил на организм человека целесообразно разделить все внешние силы на две группы: массовые силы и поверхностные силы.

Массовые силы характеризуются одновременным и непосредственным приложением к каждой элементарной материальной частице рассматриваемого тела. Примером таких сил являются гравитационные силы. Воздействие массовых сил на какую-либо

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-QuOwTf.png |
| Рис. 1.7. Субъективная оценка действия шума на человека в зависимости от уровня и частоты звука |

систему материальных частиц (тело) не вызывает появления сил взаимодействия между материальными частицами, составляющими систему. В связи с этим организм может переносить массовые силы любой величины без появления вредных физиологических последствий.

Поверхностные силы прикладываются непосредственно лишь к части элементарных частиц системы, расположенных на некоторой поверхности. К другим же частицам системы эти силы передаются через связи между частицами при взаимодействии отдельных частиц и частей системы. Воздействие поверхностных сил на тело сопровождается деформацией и относительным смещением частиц тела. Поэтому человеческий организм может перенести действие поверхностных сил ограниченной величины. Примером поверхностных сил являются сила тяги двигателя, аэродинамическая сила, действующая на летательный аппарат в полете, сила реакции Земли.  {28}

При оценке действия внешних сил на организм необходимо учитывать лишь поверхностные силы. Отношение поверхностных сил *F*п, действующих на рассматриваемое тело, к силе реакции Земли *G*, с которой Земля действует на рассматриваемое неподвижное тело на широте 45°, называется перегрузкой: *n* = *F*п/*G*.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YZfDGD.png |
| Рис. 1.8. Направление действия перегрузки на организм человека |

Воздействие перегрузки на организм зависит от величины перегрузки, длительности действия, направления и скорости изменения. Направление действия перегрузки определяют следующей системой координат (рис. 1.8). Ось *OY* направляют вдоль позвоночника человека к голове и называют продольной осью, ось *ОХ* направляют вперед перпендикулярно к плоскости груди человека и называют поперечной осью, ось *OZ* направляют к левому плечу перпендикулярно к плоскости *XOY* и называют боковой осью.

Перегрузки соответственно называются продольными, поперечными и боковыми.

Наиболее сильное биологическое воздействие создают отрицательные продольные перегрузки. Лучше всего организм переносит боковые и поперечные перегрузки обоих знаков.

При положительных продольных перегрузках происходит отлив крови от головы и сердца к ногам. Наоборот, при отрицательных перегрузках кровь и другие жидкости в организме человека перемещаются от ног к голове.

Положительные продольные перегрузки действуют при выводе самолета из пикирования, приземлении человека на ноги. Отрицательные продольные перегрузки действуют при вводе в пикирование.

Пределы выносливости организмом перегрузок сильно зависят от длительности их действия. По длительности действия перегрузки можно разбить на группы: ударные, продолжительностью менее 0,3 *сек*; кратковременные, продолжительностью до 2,5 *сек*; продолжительные — до 1 *мин*; длительные, действующие свыше 1 *мин.*

Считаются допустимыми продольные ударные перегрузки, если они не превышают 15 при скорости их изменения менее ±300 *1/сек.* Ударные боковые и поперечные перегрузки считаются допустимыми, если они лежат в диапазоне ±40 при скорости их изменения до 600 *1/сек.*  {29}

Пределы переносимости других перегрузок сильно зависят от тренированности организма, длительности и направления перегрузки. На рис. 1.9 приведен график зависимости предельно допустимых

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ftgOyk.png |
| Рис. 1.9. Зависимость действия поперечных перегрузок на организм человека от их длительности |

поперечных перегрузок от их длительности, принятых в американской практике.

Переносимость поперечных перегрузок лимитируется возникновением болевых ощущений в грудной клетке человека и нарушением процесса дыхания вследствие уменьшения жизненной емкости легких. На рис. 1.10 приведены зоны переносимости длительных поперечных перегрузок по времени. Из графика (рис. 1.10)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-emLYln.png | | |  |
| Рис. 1.10. Зоны переносимости длительных поперечных перегрузок по времени | | |  |
|  |  |  | |

видно, что длительные перегрузки, равные 5 и действующие в направлении спина — грудь, переносятся в течение 7—10 *мин*, а перегрузки, равные 8,— в течение 2 *мин.* При перегрузке, равной 5, жизненная емкость легких человека становится в пять раз меньше по сравнению с исходной величиной.

**§ 1.3. Способы обеспечения жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов при высотном полете**

Анализ факторов высотного полета позволяет отметить ряд проблем, связанных с обеспечением жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов.

Первая проблема касается вопросов создания необходимой среды обитания в герметической кабине летательного аппарата. Необходимый микроклимат в герметической кабине создается путем применения систем кондиционирования воздуха. Эти системы создают искусственную атмосферу, обладающую заранее заданными физическими параметрами.

Вторая проблема связана с защитой экипажа от кислородного голодания, пониженного давления атмосферы и от значительного отклонения температуры в особых условиях полета. Для защиты экипажа от неблагоприятных условий высотного полета при разгерметизации кабины применяются системы кислородного питания и высотное спецснаряжение.

Третья проблема касается защиты человека от действия перегрузок на активном участке полета. Для защиты человека от перегрузок используются противоперегрузочные костюмы.

Четвертая проблема связана с защитой экипажа от скоростного напора при аварийном покидании летательного аппарата и с обеспечением безопасного спуска и приземления. Применяются катапультные установки и парашютные системы.

На основании указанных основных физиолого-технических проблем можно определить технические средства жизнеобеспечения, спасения и индивидуальной защиты экипажей летательных аппаратов. Такими техническими средствами являются:

Системы кондиционирования воздуха герметических кабин, которые создают необходимую среду обитания для экипажей при высотном полете. Работа системы кондиционирования сводится к поддержанию физиолого-гигиенических параметров искусственной атмосферы в герметической кабине на таком уровне, при котором обеспечиваются нормальные условия жизнедеятельности экипажа.

Системы кислородного питания экипажа, предназначенные для поддержания необходимой величины парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, когда парциальное давление кислорода в кабине становится ниже нормального. Работа системы сводится к повышению процентного содержания  {31}  и избыточного давления кислорода во вдыхаемом воздухе в зависимости от высоты.

Высотно-компенсирующие костюмы, которые используются в комплекте с системами кислородного питания. Высотно-компенсирующие костюмы создают внешнее противодавление на тело летчика при наличии избыточного давления кислорода в легких; этим и обеспечивается безопасное пребывание человека на высотах более 12 *км* при разгерметизации кабины летательного аппарата.

Противоперегрузочные костюмы, защищающие человека от действия положительных продольных перегрузок в момент выхода самолета из пикирования. Работа этих костюмов сводится к созданию внешнего противодавления на нижнюю часть тела человека, что нормализует кровообращение в организме человека.

Вентилирующие костюмы, предназначенные для создания нормального теплоощущения при нахождении летчика в переменных температурных условиях.

Скафандры, служащие для сохранения условий нормальной жизнедеятельности летчикам в случае разгерметизации кабины на любых высотах полета или при нарушении газового состава в ней. Кроме того, скафандры обеспечивают нормальный тепловой режим непосредственно вблизи тела человека, когда герметическая кабина летательного аппарата подвергается большому аэродинамическому нагреву.

Катапультные установки, обеспечивающие аварийное покидание летательного аппарата и защищающие человека от действия скоростного напора при катапультировании.

Парашютные системы, предназначенные для безопасного спуска и приземления экипажа после покидания летательного аппарата. При катапультировании на больших скоростях и высотах полета применяются главным образом парашютные системы, состоящие из трех парашютов, вводимых последовательно в действие.

Трехкаскадная парашютная система состоит из стабилизирующего парашюта, обеспечивающего стабилизацию движения катапультируемой установки после отделения от летательного аппарата, тормозного парашюта, обеспечивающего стабилизированный спуск до высот, являющихся безопасными для ввода основного парашюта, и основного парашюта, который вводится в действие обычно на высоте 3—4 *км.* Эта высота является целесообразной с точки зрения обеспечения минимального времени спуска, чтобы человек не замерз при спуске и чтобы он по возможности мог выбрать удобный район приземления. Основной парашют обеспечивает снижение со скоростью у поверхности Земли до 5—6 *м/сек.*

**Глава 2**

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ГЕРМЕТИЧЕСКИХ КАБИН ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**§ 2.1. Принципы формирования искусственной атмосферы в герметических кабинах летательных аппаратов**

При нормальных условиях полета современных летательных аппаратов на больших скоростях и высотах герметическая кабина ограждает экипаж от неблагоприятного воздействия окружающей среды, основные параметры которой могут иметь значения, физиологически непереносимые человеческим организмом.

Системы кондиционирования воздуха поддерживают в герметических кабинах газовый состав, давление, влажность и температуру в пределах, обеспечивающих необходимые условия для жизнедеятельности экипажа.

В результате жизнедеятельности экипаж непрерывно потребляет кислород и выделяет в газовую среду кабины углекислый газ и пары воды. Поэтому для обеспечения нормальной жизнедеятельности экипажа в герметической кабине необходимо все время поддерживать определенный состав воздушной среды.

В соответствии с рекомендуемой оптимальной величиной парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (150 *мм рт. ст.*) состав воздуха в кабине при *p*0 = 760 *мм рт. ст.* должен определяться следующими концентрациями газовых компонентов по объему:

— кислорода — 21%;

— азота — 78%;

— углекислого газа — не более 0,5—1%.

При решении вопроса о создании искусственной атмосферы в герметической кабине летательного аппарата (ЛА) требуется определить не только, необходимый газовый состав, но и основные параметры физического состояния газовой среды: абсолютное давление *р*к, скорость изменения давления Δ*р*к/Δ*t* парциальное давление кислорода *p*O2, относительную влажность *r*к, температуру *Т*к и др.  {33}  От значений указанных физиолого-гигиенических параметров зависит жизнедеятельность экипажей ЛА. Помимо этого, жизнедеятельность экипажей определяется аэроионным режимом и допустимой дозой проникающей радиации.

Необходимые значения физиолого-гигиенических параметров газовой среды выбираются на основании результатов многочисленных физиологических исследований поведения человека в газовой среде с переменными параметрами ее физического состояния.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-JbELTs.png |
| **Рис. 2.1.** Допустимые пределы изменения парциального давления кислорода для человека |

**Величина абсолютного давления.** Величина абсолютного давления в герметической кабине выбирается из допустимого предела изменения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (рис. 2.1), а также по соображениям возможных декомпрессионных расстройств при разгерметизации кабины и веса кабины. На рисунке показаны зоны возможных значений парциальных давлений кислорода во вдыхаемом воздухе в функции абсолютного давления в кабине и процентного содержания кислорода. При изменении парциального давления кислорода в пределах 140—300 *мм рт. ст.* не наблюдается каких-либо физиологических изменений у экипажа ЛА. При парциальном давлении кислорода ниже 100 *мм рт. ст.* организм человека начинает подвергаться явлению гипоксии. При продолжительном нахождении человека в газовой среде с парциальным давлением кислорода более 425 *мм рт. ст.* наблюдается отравление организма кислородом. Внешне это у человека проявляется в виде общего недомогания, появляется головная боль, боль в ушах, кашель, закладывает нос, понижается острота зрения.

Из рисунка 2.1 видно, что величину абсолютного давления воздуха в кабине можно выбирать в пределах от 800 до 200 *мм рт. ст.*, сохраняя парциальное давление кислорода в заданных пределах увеличением процентного содержания кислорода в кабине от 21 до 100%. Однако опыт эксплуатации систем кондиционирования воздуха показывает, что увеличение процентного содержания кислорода в кабине может явиться причиной пожара. Особенно большая опасность пожара возникает, когда процентное содержание кислорода в воздухе кабины начинает превышать 40%.  {34}

Таким образом, при 21-процентном содержании кислорода максимальное давление в кабине может быть 760 *мм рт. ст.* и минимальное — порядка 530 *мм рт. ст.* Однако, поддержание в кабине давления на уровне 760 *мм рт. ст.* при обычном высотном полете не всегда является рациональным, так как увеличивается вес конструкции герметической кабины и неблагоприятно влияют на организм человека большие перепады давления в случае внезапной разгерметизации кабины на большой высоте. Согласно допустимым физиологическим нормам за оптимальное значение абсолютного давления воздуха в кабине при высотном полете принято считать

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-GGAsvB.png |
| **Рис. 2.2.** Влияние температуры воздуха на потребление кислорода |

давление, которое соответствует высоте 1500—2000 *м.* При указанном давлении не ограничивается длительность полета и не требуется включать в работу систему кислородного питания для экипажа.

**Скорость изменения давления.** Для ослабления эффекта декомпрессионной болезни у экипажа, порождаемой резким изменением давления в кабине, скорость изменения давления воздуха должна ограничиваться. По существующим физиологическим нормам скорость изменения давления воздуха в кабине не должна превышать:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| — при непродолжительных полетах — | Δ*р*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-NLOHFg.png  Δ*t* | ≤ 5 — 10 | *мм рт. ст.*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-cyJszA.png  *сек* | ; |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| — при продолжительных полетах — | Δ*р*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-1UtPUf.png  Δ*t* | ≤ 2 | *мм рт. ст.*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-pHtUBq.png  *сек* | . |

**Температура.** Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, среда должна обладать способностью отнимать вырабатываемое организмом тепло. Теплообмен между организмом и окружающей средой зависит от климатических условий, прежде всего от температуры и влажности. Если окружающая среда имеет такую температуру и влажность, при которых количество тепла, вырабатываемого организмом, находится в равновесии с количеством тепла, отбираемым средой, среда является комфортной. Для кислородно-азотной среды она равна 20—22°С.

С изменением температуры изменяется также интенсивность обмена веществ, в частности потребление кислорода. На рис. 2.2 показаны кривые изменения температур окружающего воздуха (20—35°С), при которых наблюдается минимальное потребление  {35}  кислорода. Потребление кислорода зависит от индивидуальных особенностей человека (кривые *1*, *2*, *3*, *4*).

**Влажность.** Влажность для состояния человеческого организма имеет меньшее значение, чем давление и температура воздуха. Однако сильное изменение относительной влажности в кабине, как уже отмечалось, может привести к нарушению саморегуляции температуры тела человека, эффективность которой зависит от состояния насыщения воздуха водяными парами. Допускается изменение относительной влажности в пределах 30—70%. Наиболее благоприятной является влажность 40%.

Аэроионный режим. При формировании искусственной атмосферы в кабине ЛА необходимо принимать во внимание также и аэроионный режим. Должны быть реализованы следующие гигиенические требования к аэроионному режиму:

— уровень суммарной концентрации аэроионов — 2 · 103 — 5 · 103 *1/см*3;

— коэффициент униполярности — 0,7—0,8.

**Допустимые дозы проникающей радиации.** При одноразовом облучении в течение суток допустимая доза проникающей радиации не должна превышать 25 бэр.

**Способы регулирования параметров искусственной атмосферы.** Поддержание физиолого-гигиенических параметров искусственной атмосферы в герметической кабине летательного аппарата на необходимом уровне обеспечивается системами кондиционирования воздуха.

Нормальный газовый состав воздуха в герметической кабине летательного аппарата можно осуществить либо непрерывной подачей в кабину свежего воздуха по незамкнутому циклу, либо регенерацией (восстановлением) воздуха по замкнутому циклу.

В соответствии с указанными способами вентиляции воздуха герметических кабин и в зависимости от высоты полета летательного аппарата кабины принято классифицировать на герметические кабины вентиляционного (неавтономного) и герметические кабины регенерационного (автономного) типа. Герметические кабины вентиляционного типа обычно используются для высот полета около 20—25 *км*, герметические кабины регенерационного типа — неограниченно.

Для герметической кабины вентиляционного типа блок-схема системы кондиционирования воздуха может иметь вид, показанный на рис. 2.3. Чистота воздуха и его состав обеспечиваются системой вентиляции путем принудительной подачи определенного количества *W*к свежего воздуха в кабину. Регулирование давления осуществляется перепуском избыточного количества воздуха, непрерывно поступающего в кабину, в атмосферу через клапан перепуска воздуха регулятора давления (*РД*). Регулирование температуры осуществляется изменением теплосодержания воздуха,  {36}  поступающего в кабину. Регулятор температуры (*РТ*) автоматически управляет краном распределителя воздуха, который пропускает

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-oeoJ2h.png |
| Рис. 2.3. Блок-схема системы кондиционирования воздуха герметической кабины вентиляционного типа:  *ГК* — герметическая кабина; *РД* — регулятор давления; *РТ* — регулятор температуры; *Охл.* — система охлаждения воздуха |

горячий свежий воздух либо на охлаждение, либо непосредственно направляет на вход в кабину.

В кабинах вентиляционного типа современных самолетов обычно отсутствует контур регулирования относительной влажности и контур регулирования парциального давления кислорода. Необходимая величина парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе на определенных высотах полета обеспечивается использованием экипажем систем кислородного питания.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Z05l9g.png |
| Рис. 2.4. Блок-схема системы кондиционирования воздуха герметической кабины регенерационного типа:  *ГК* — герметическая кабина: *РТ* — регулятор температуры: *pО*2 — регулятор парциального давления кислорода: *РВ* — регулятор влажности; *РД* — регулятор давления; *О*2 — запас кислорода; *В* — вентилятор; *Охл.* — система охлаждения воздуха; *ВП* — влагопоглотитель; *Ф* — фильтр: *РУ* — регенерационная установка; *N*2 — запас азота |

На рисунке 2.4 изображена блок-схема системы кондиционирования воздуха для герметической кабины регенерационного типа.  {37}  В отличие от рассмотренной системы кондиционирования (рис. 2.3) в данной схеме предусмотрен замкнутый контур циркуляции воздуха через элементы регенерационной установки. Такая система регенерации воздуха должна обеспечивать непрерывное поглощение углекислого газа и паров воды, выделяемых экипажем, а также непрерывно подавать необходимое количество кислорода в кабину.

Основными контурами регулирования данной схемы являются: контур регулирования давления *РД* и контур регулирования температуры *РТ.* Регулирование давления осуществляется воздействием

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-1rghgL.png |
| **Рис. 2.5.** Схема направления потока газа по замкнутому контуру для кабины регенерационного типа:  *ГК* — герметическая кабина; *РУ* — регенерационная установка: *В* — вентилятор: *Экип.* — экипаж |

через исполнительный орган регулятора давления на систему подачи инертного газа (азота N2 или гелия Не) в кабину, а регулирование температуры — изменением степени рассеивания тепла из кабины в окружающую среду. Поддержание необходимой величины относительной влажности воздуха осуществляется регулятором влажности *РВ*, воздействующим на влагопоглотитель *ВП.* Регулирование парциального давления кислорода обеспечивается обогащением воздуха кабины чистым кислородом с помощью регулятора парциального давления кислорода *pО*2.

Расчет потребного расхода воздуха, движущегося по замкнутому контуру через элементы регенерационной установки и предназначенного для поглощения продуктов жизнедеятельности экипажа, производится из условия ограничения концентрации газообразных примесей в воздухе кабины и оптимальной величины относительной влажности.

Расчетные формулы потребного расхода воздуха можно получить из уравнения баланса газовой смеси в кабине. На рис. 2.5 показано направление потока газа по замкнутому контуру для кабины регенерационного типа. Согласно приведенной схеме уравнение баланса расхода примесей для установившегося режима имеет вид

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *W*p*C*p + *nqCО*2 = *W*p*C*к, | (2.1) |

где *W*p — потребный расход газовой смеси через регенерационную установку, *м*3/*час*;

*С*р — концентрация в процентах газообразной примеси в газовом потоке на выходе регенерационной установки;  {38}

*nqCО*2 — количество углекислого газа, выделяемого человеком в процессе дыхания, *м*3/*час*;

*n* — количество членов экипажа;

*С*к — фактическая концентрация в процентах примесей в воздухе кабины.

Расчетную формулу потребной вентиляции можно записать в следующем виде:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *W*р = | *nqCО*2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-07HWGb.png  *С*к – *С*р | ≈ | *nqCО*2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-AZCgEr.png  *С*к | , | | (2.2) |

поскольку концентрация примесей на выходе регенерационной установки *С*р обычно мала.

Уравнение баланса паров воды для установившегося режима имеет вид

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *W*p*E*p + *nqH*2*O* = *W*p*E*к, | (2.3) |

где *Е*р — абсолютная влажность газового потока на выходе регенерационной установки, *г*/*м*3;

*Е*к — абсолютная влажность воздуха в кабине, *г*/*м*3;

*qH*2*О* — количество влаги, выделяемой человеком, *г*/*час.*

Из формулы (2.3) получим потребную вентиляцию по влажности

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *W*р = | *nqH*2*О*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-9b5_RB.png  *E*к – *E*р | ≈ | *nqH*2*О*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-GA_T06.png  *E*кη*H*2*О* | , | | (2.4) |

где η*H*2*О* = (*E*к – *E*p)/*E*к — степень поглощения влаги влагопоглотителем (обычно η*H*2*О* = 0,5—0,8).

Обычно степень насыщения воздуха в кабине водяными парами оценивается величиной относительной влажности, так как большинство явлений, связанных с влажностью воздуха (быстрота испарения, состояние живого организма), зависит не столько от количества водяных паров в воздухе, сколько от того, как близок воздух к насыщению. Тогда расчетная формула потребной вентиляции по влажности записывается в следующем виде:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *W*р = | *nqH*2*О*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-2jgIAV.png   |  |  | | --- | --- | | *r*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-tYNyEv.png  100 | *E*максη*H*2*О* | | , | | (2.5) |

где *r*к = *E*к/*E*макс · 100 — заданная величина относительной влажности в кабине, %;

*E*макс — максимальная влажность насыщенных паров в кабине при заданной температуре, *г*/*м*3.

Для расчета потребного количества свежего воздуха, подаваемого в кабину вентиляционного типа, можно пользоваться аналогичными формулами;  {39}

1. Потребная вентиляция по допустимой концентрации примесей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *W*к = | *nqCO*2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-XCsL41.png  *C*к – *C*в | , | | (2.6) |

где *С*в — концентрация углекислого газа в подаваемом в кабину воздухе.

2. Потребная вентиляция по влажности

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *W*к = | *nqH*2*О*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-afJuGY.png   |  |  | | --- | --- | | *r*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ramt3K.png  100 | *E*макс – *E*в | | , | | (2.7) |

где *Е*в — абсолютная влажность воздуха, поступающего в кабину, *г*/*м*3. Приведенные формулы позволяют рассчитать потребную вентиляцию кабин как регенерационного, так и вентиляционного типа. Заметим, что указанный расчет обычно производится по влажности и проверяется по допустимой концентрации примесей.

**§ 2.2. Системы регулирования параметров газовой среды в герметических кабинах**

**Системы регулирования давления.** На жизнедеятельность экипажа существенное влияние оказывают величина абсолютного

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-SjM7sF.png |
| **Рис. 2.6.** Общий закон изменения давления воздуха в кабине |

давления и скорость его изменения. Величина давления определяется высотой полета, а скорость его изменения — вертикальной скоростью полета. Функциональная зависимость между давлением воздуха в кабине и высотой полета называется законом изменения давления воздуха в герметической кабине (ГК). В общем случае закон изменения давления воздуха в ГК можно изобразить графиками, представленными на рис. 2.6. На этих графиках обозначены зоны, определяемые координатами начала герметизации кабины (*р*г, *Н*г) и координатами перехода на постоянное избыточное давление в кабине (*р*'к, *Н*').

Зона *I* является зоной свободной вентиляции (рис. 2.6, *а* и *б*). Давление воздуха в кабине *р*к изменяется в соответствии с изменением атмосферного давления и характеризуется зависимостью

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *р*к = *рH* + δ, | (2.8) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-hYX2y1.png | {40} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-J55uQw.png |

где δ — величина гидравлического сопротивления потоку воздуха через исполнительный орган регулятора давления.

В пределах зоны *I* скорость изменения давления воздуха в кабине равна скорости изменения барометрического давления

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Δ*р*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-e2Iuwu.png  Δ*t* | = | Δ*рH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-JUYT36.png  Δ*t* | , | | (2.9) |

где Δ*р*к и Δ*рH* — изменения давления воздуха в кабине и в атмосфере за время Δ*t*.

Зона *II* — зона постоянного давления воздуха в кабине (*р*к = const; рис. 2.6, *а*).

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-X8bqTY.png |
| **Рис. 2.7.** Закон изменения давления воздуха в координатах *р*к и *рН* |

Зона *III* — зона постоянного перепада давления воздуха в кабине (*р*к – *рН* = const; рис. 2.6, *а* и *б*). В этой зоне, так же как и в зоне *I*, скорость изменения давления в кабине равна скорости изменения барометрического давления в атмосфере.

Зона *IV* — зона переменного давления воздуха в кабине (рис. 2.6, *б*). Зависимость между давлением *р*к и барометрическим давлением *рН* в этой зоне может быть найдена, если закон изменения давления *p*к = *f*(*H*) перестроить в координатах *р*к, *рН*. Такой график дан на рис. 2.7. На основании характеристики для зоны *IV* зависимость между *р*к и *рН* определяется уравнением прямой линии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *р*к = *aрH* + *b*, | (2.10) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| где *a* = | *р*г – *р'*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-9GNaNJ.png  *р*г – *р'Н* | ;   *b* = (1 – *a*) *р*г. |

Величина *а*, как видно из рис. 2.7, не превышает единицы, а величина *b* обычно изменяется в пределах 400–600 *мм рт. ст.*

Скорость изменения давления в кабине определяется следующим соотношением:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Δ*р*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-swxw37.png  Δ*t* | = *a* | Δ*рH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-cslnIe.png  Δ*t* | . | | (2.11) |

Из графика изменения давления воздуха в кабине, представленного на рис. 2.6, следует, что указанные зоны полностью определяются выбором трех параметров: давлением в кабине *p*г к началу ее герметизации, атмосферным давлением *р'H* и давлением в кабине *р'*к при переходе в зону постоянного избыточного давления. Рассмотрим, какие ограничения накладываются на выбор  {41}  указанных параметров (ширину зон), закон изменения давления в кабине в функции высоты.

Из уравнения статики атмосферы имеем

|  |  |
| --- | --- |
| Δ*рH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-MFBmWM.png  Δ*H* | = γ*H* |

или, опуская знак:

Отсюда скорость изменения атмосферного давления будет равна

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | γ*H* = | Δ*рH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-dgbpKn.png  Δ*t* | · | 1  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-_Rt4Sv.png   |  | | --- | | Δ*H*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-tiN2ZE.png  Δ*t* | | = | Δ*рH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Oz9mpd.png  Δ*t* | · | 1  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-dd0Pmn.png  *Vy* | | (2.12) |

где *Vy* — вертикальная скорость полета;

γ*H* — весовая плотность атмосферы на высоте *H*.

Из выражения (2.13) можно определить, на каких режимах полета целесообразнее поддерживать в кабине тот или другой характер изменения давления воздуха. Например, если потребная вертикальная скорость полета *Vy* = 300 *м/сек*, а допустимая скорость изменения давления воздуха в кабине ограничивается величиной до 5 *мм рт. ст./сек*, то переходить в зону *III* (когда *р*к — *рH* = const) можно только на высотах, превышающих 14 *км.*

Из уравнений (2.11) и (2.13) можно найти координаты рационального закона изменения давления воздуха в кабине. Зная вертикальную скорость полета *Vy* и задаваясь предельным значением допустимой скорости изменения давления воздуха в кабине (Δ*р*к/Δ*t*)макс можно найти значение коэффициента

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *a* = | |  |  |  | | --- | --- | --- | | ( | Δ*р*к  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-oJI4Bc.png  Δ*t* | )макс |   https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-o7exVQ.png  γ*H* *Vy*макс | | (2.14) |

В конечном итоге могут быть найдены искомые координаты *р*г и *b.* Давление *р*г выбирается из условия обеспечения необходимого парциального давления кислорода *р*0 (рис. 2.1) в кабине.

Из приведенного анализа следует, что определяющим фактором выбора профиля закона изменения давления являются максимально возможные вертикальные скорости летательного аппарата на различных высотах и физиологические нормы максимально допустимых скоростей изменения давления воздуха в кабине.

На рисунке 2.8 показаны различные профили закона изменения давления воздуха в ГК. Наиболее распространенный закон изменения давления в кабине соответствует кривой *4.*

Для ограничения скорости изменения давления в кабине наиболее целесообразным является закон изменения давления, соответствующий кривой *2.* При больших вертикальных скоростях  {42}  в зоне малых высот полета целесообразно использовать законы изменения давления, соответствующие кривым *3* и *2*.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xTVvBn.png |
| **Рис. 2.8.** Возможные законы изменения давления воздуха в кабине:  *1*, *2* и *5* — для кабин истребителей: *3* — для кабин пассажирских самолетов; *4* — для кабин бомбардировщиков |

Указанные законы изменения давления в кабине находят применение на самолетах различных типов. Так, на пассажирских самолетах, обладающих малыми вертикальными скоростями, для создания наилучшего комфорта целесообразно применять закон, соответствующий кривой *3.* На бомбардировщиках используется закон, соответствующий кривой *4*, на истребителях — законы, соответствующие кривым *2*, *1* и *5*. Для воспроизведения желаемого изменения давления воздуха в ГК используются специальные регуляторы давления.

Схемы регуляторов давления. Регуляторы давления предназначены для поддержания заданного закона изменения давления воздуха в кабине. Чтобы обеспечить регулирование давления воздуха в кабине при различных расходах воздуха от минимальной величины вентиляции до максимальной регуляторы должны обладать достаточной пропускной способностью. В зависимости от пропускной способности регулирующего органа (клапанного устройства) и допустимой скорости изменения давления воздуха в кабине применяются регуляторы давления прямого и непрямого действия.

При подаче воздуха, не превышающей нескольких сот килограммов воздуха в час, в ГК применяются регуляторы прямого действия, управляемые непосредственно чувствительными элементами. При большей подаче применяются регуляторы непрямого действия, так как для перепуска необходимого количества воздуха приходится применять утяжеленные клапаны, которыми без специальных усилительных устройств (при сохранении заданных требований регулирования) не смогут управлять непосредственно чувствительные элементы. Регуляторы непрямого действия обеспечивают большую точность регулирования и ограничивают скорость изменения давления воздуха в кабине.

Для реализации необходимого профиля закона изменения давления в кинематической схеме регулятора обычно предусматриваются два самостоятельных регулятора: регулятор абсолютного давления и регулятор избыточного давления, причем оба регулятора  {43}  выполняются в виде единой конструкции. Регулятор избыточного давления служит для реализации зоны с постоянным перепадом, а регулятор абсолютного давления обеспечивает реализацию всех других зон изменения давления воздуха в ГК.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-c5cVf4.png |
| **Рис. 2.9.** Кинематическая схема регулятора давления прямого действия:  *1* — анероидный сильфон; *2* — сдвоенный клапан; *3* — шток; *4* — пружина; *5* — обратный клапан |

Кинематическая схема регулятора давления прямого действия приведена на рис. 2.9. Чувствительным элементом регулятора абсолютного давления является анероидный сильфон *1*. Регулирующим органом является сдвоенный клапан *2* разного диаметра, соединенный с подвижным центром сильфона штоком *3.* Чувствительным элементом регулятора избыточного давления является система клапана *2* с пружиной *4.* Если избыточное усилие, приложенное к сдвоенному клапану, от перепада давления в кабине и атмосфере будет больше жесткости пружины *4*, то клапаны откроются для увеличения перепуска воздуха из кабины.

Регулятор работает следующим образом. При давлении воздуха в кабине, равном давлению атмосферного воздуха у Земли, чувствительный элемент регулятора находится в сжатом состоянии и клапан *2* открыт. При уменьшении абсолютного давления воздуха в кабине подвижный центр сильфона *1* начинает постепенно прикрывать сдвоенный клапан *2.* Пока абсолютное давление в кабине не упадет до значения *р*г (рис. 2.6), клапан *2* прикрывается на такую величину, что поступающий в кабину воздух свободно уходит через зазор между клапаном и выходными отверстиями регулятора в атмосферу. При таком положении клапана обеспечивается режим свободной вентиляции. Начиная с высоты *H*г зазор *h* между сдвоенным клапаном и диаметром *d*к выходных отверстий будет соответствовать неравенству *h* < 0,2*d*к. При этом соотношении обеспечивается эффективный перепуск воздуха из кабины в атмосферу.

На высотах от *Н*г до *Н'* регулятор абсолютного давления перепускает воздух из кабины в таком количестве, чтобы в кабине на этих высотах поддерживалось абсолютное давление, равное давлению, на которое отрегулирован чувствительный элемент. На высоте *Н'* вступает в работу регулятор избыточного давления, который поддерживает постоянное избыточное давление в кабине на всех высотах полета более *Н'*. Регулирование постоянства избыточного давления (*p'*к – *p'H*) обеспечивается соответствующим  {44}  открытием и закрытием выходных отверстий регулятора, когда нарушается равенство сил: силы пружины *4*, с одной стороны, и силы давления кабинного воздуха на избыточную площадь нижнего клапана, с другой стороны. Пружина *4* отрегулирована таким образом, чтобы она могла сжиматься и допускать открытие клапанов в тех случаях, когда на площадь клапанов действует избыточное давление, равное заданному (*p'*к – *p'H*).

Предусмотренный в регуляторе обратный клапан *5* служит для ликвидации отрицательного перепада давления воздуха в кабине. Такой перепад может быть при резком снижении самолета.

Для улучшения качества переходного процесса системы регулирования давления воздуха в системах кондиционирования широко используются регуляторы давления со стабилизирующими устройствами. Рассмотрим кинематическую схему регулятора непрямого действия, обеспечивающего изменение давления в ГК по закону, соответствующему кривой *4* (рис. 2.8).

Регулятор непрямого действия по принципу действия во многом похож на описанный выше регулятор (рис. 2.9). Кинематическая схема регулятора непрямого действия показана на рис. 2.10. На этой схеме регулятор абсолютного давления представлен чувствительным элементом — анероидным сильфоном *5*, реагирующим на давление воздуха в полости *А*, усилительным устройством в виде игольчатого клапана *4* и мембраны *5*, воспринимающей перепад давления воздуха (*p*A – *p*к), исполнительным органом — клапаном *10*, перепускающим воздух из кабины в атмосферу, и демпфером *11*, реагирующим на скорость изменения давления в кабине (Δ*р*к/Δ*t*). Регулятор избыточного давления представлен чувствительным элементом — мембраной *2* с пружиной *1*, реагирующим на перепад давления воздуха в полости *А* и в атмосфере, усилительным устройством — игольчатым клапаном *3* и мембраной *8*, исполнительным органом — клапаном *10.*

Рассмотрим работу регулятора. При подаче в кабину воздуха, когда самолет находится на земле, давление в ней, а следовательно, под мембраной *8* начинает увеличиваться. Давление над мембраной *8* остается практически атмосферным, так как в рассматриваемом случае сильфон находится в сжатом состоянии и клапан *4* при этом полностью открыт. Приложенный к мембране перепад давления воздуха поднимает клапан вверх при избыточном давлении в кабине не более 30 *мм рт. ст.* При таком положении регулятора осуществляется вентиляция кабины.

С подъемом на высоту вступает в работу регулятор абсолютного давления. Сильфон расширяется, и клапан *4* перемещается в сторону уменьшения проходного отверстия из полости *А* в атмосферу. Давление в полости *А* начинает увеличиваться в результате  {45}  поступления воздуха через дроссельное отверстие *7*, а перепад давления на мембране *8* — уменьшаться. В результате клапан *10* опускается, уменьшая проходное сечение для выхода воздуха из кабины, давление в ней повышается до заданного значения. Если давление

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-RFGh48.png |
| **Рис. 2.10.** Кинематическая схема регулятора давления непрямого действия с демпфирующим устройством:  *1* — пружина; *2* — мембрана узла избыточного давления; *3* и *4* — игольчатые клапаны; *5* — анероидный сильфон; *6* — пружина; *7* — дроссельное отверстие; *8* — мембрана клапана перепуска; *9* — мембрана; *10* — клапан перепуска; *11* — демпфер; *12* — дроссельное отверстие; *13* — игольчатый клапан; *14* — мембрана демпфера |

в кабине начнет превышать заданное для данной высоты полета, то будет возрастать давление и в полости *А.* Сильфон *5* сожмется на пропорциональную давлению величину и, открывая клапан *4*, сбросит излишнее давление из полости *А* в атмосферу. Это, в свою очередь, приведет к открытию клапана *10*, через который стравливается в атмосферу излишний воздух из кабины, и давление в ней достигнет заданной величины. До конца зоны *II* на кривой *4* (рис. 2.8) регулятор абсолютного давления поддерживает  {46}  абсолютное давление в кабине на одном уровне, на который отрегулирован чувствительный элемент. Таким образом будет обеспечиваться зона постоянного абсолютного давления в ГК (*р*к = const).

Для ограничения кратковременных колебаний давления воздуха в кабине в. схеме регулятора предусмотрен демпфер *11* (рис. 2.10), который в переходном режиме увеличивает быстродействие клапана *10.* Например, при резком увеличении подачи воздуха в кабину возрастает давление в полости *А* регулятора вследствие поджатия воздуха в полости *В* со стороны мембраны *8*, что вызывает включение в работу демпфера *11.* Демпфирующее устройство обеспечивает резкое уменьшение давления в полости *B*, в результате чего создаются условия для более быстрого открытия клапана *10.*

Когда разность давлений в полости *А* и атмосфере становится больше расчетной, вступает в работу чувствительный элемент регулятора избыточного давления. Игольчатый клапан *3* перепускает воздух из полости *А* в атмосферу с таким расчетом, чтобы обеспечить заданное значение избыточного давления Δ*р*А = *р*А – *РH* = const. На протяжении всей зоны *III* работы регулятора в кабине будет поддерживаться избыточное давление Δ*р*к на уровне заданного значения Δ*р*А, иначе *р*к – *рH* = const.

Для ограничения отрицательного перепада давления в кабине при резком снижении самолета в схеме предусмотрена мембрана *9*, которая реагирует на перепад давления между атмосферой и кабиной. Под действием атмосферного давления, превышающего давление в кабине, клапан *10* откроется и в кабину поступит воздух непосредственно из атмосферы.

Для реализации зоны переменного давления воздуха в кабине по уравнению *р*к = *а рH + b* в кинематической схеме регулятора должна предусматриваться специальная коррекция абсолютного давления в ГК по высоте полета. Принципиальная схема такого регулятора приведена на рис. 2.11. Регулятор состоит из трех узлов:

— узла регулирования абсолютного давления, состоящего из сильфона *6* с мембраной *5*, пружины *7* и игольчатого клапана *4*;

— узла регулирования избыточного давления, состоящего из мембраны *2*, пружины *1* и игольчатого клапана *3*;

— узла перепуска воздуха из кабины в атмосферу, состоящего из мембраны *13*, пружины *14*, клапана *12* перепуска воздуха и мембраны *10.*

Работа данного регулятора аналогична работе регулятора, схема которого приведена на рис. 2.10. Только узел абсолютного давления реагирует как на атмосферное давление, так и на перепад давления *р*А – *РH*. Такой комбинированный управляющий сигнал обеспечивает регулирование давления в кабине не на одном уровне, а с желаемым наклоном к кривой МСА.  {47}

В практике применяется для кабин большого объема (более 2 *м*3) регулятор давления типа АРД-54, выполненный по кинематической схеме, изображенной на рис. 2.10. Внешний вид регулятора АРД-54 показан на рис. 2.12. Регулятор состоит из трех

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-HBVQhM.png |
| **Рис. 2.11.** Кинематическая схема регулятора давления с коррекцией абсолютного давления по высоте:  *1* — пружина; *2* — мембрана; *3* и *4* — игольчатые клапаны; *5* — мембрана; *6* — сильфон; *7* — пружина сильфона; *8* — дроссельное отверстие; *9* — отверстие в полости *В*; *10* — мембрана; *11* — ограничитель хода клапана перепуска; *12* — клапан: *13* — мембрана; *14* — пружина |

конструктивных узлов: командного прибора *I*, клапана *II*, демпфера *III*. Командный прибор автоматически управляет клапаном *II*перепуска, поддерживающим заданное давление воздуха в кабине путем изменения расхода воздуха в атмосферу.

Командный прибор имеет дистанционное управление для переключения работы регулятора избыточного давления с нормального режима на боевой режим. Указанные режимы работы регулятора избыточного давления обеспечиваются подачей электрического  {48}  сигнала на специальный электромагнит, изменяющий натяжение пружины *1* регулятора избыточного давления (рис. 2.10). Без электрического сигнала натяжение пружины *1* заставляет срабатывать чувствительный элемент при избыточном давлении в полости *A*, равном 295 *мм рт. ст.* При подаче электрического сигнала натяжение пружины *1* изменяется таким образом, что чувствительный элемент срабатывает при меньшем значении избыточного давления, равном 150 *мм рт. ст.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-KWnJgP.png |
| **Рис. 2.12.** Внешний вид регулятора АРД-54:  *I* — командный прибор; *II* — клапан перепуска; *III* — демпфер; *IV* — трехходовой кран |

Необходимость переключения работы регулятора избыточного давления на боевой режим обусловлена тем, что нужно уменьшить воздействие на летный экипаж больших перепадов давления воздуха в момент разгерметизации кабины, которые могут произойти при простреле кабины.

На командном приборе устанавливается трехходовой кран *IV* (рис. 2.12), с помощью которого можно включить в работу регулятор давления, выключить регулятор, а также проверить избыточное давление в кабине на земле. Для проверки избыточного давления в кабине в наземных условиях трехходовой кран устанавливается в среднее положение. Для проверки кабины на герметичность трехходовой кран повертывается в крайнее положение против часовой стрелки, при этом регулятор выключается. При установке трехходового крана в крайнее положение по часовой стрелке регулятор давления включается в нормальную работу.

Конструктивная схема командного прибора показана на рис. 2.13. На схеме изображены все элементы командного прибора, назначение и принцип действия которых описаны выше.

На рисунке 2.14 дана конструктивная схема клапана регулятора. Клапан *4* жестко соединен с мембраной *2* и является исполнительным органом регулятора давления.

Конструктивная схема демпфера дана на рис. 2.15. Основными деталями демпфера являются мембрана *1*, пружина, игольчатый клапан *3* и дроссельное устройство *2.* Мембрана *1* разделяет внутреннюю полость демпфера на полости *Б* и *Г*. Полость *Б* соединена с полостью *А* командного прибора. При открытии игольчатого клапана *3* полость *Б* соединяется с внешней атмосферой. Полости

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-KA6kID.png | {49} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YajYR5.png |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-QkqMP3.png |
| **Рис. 2.13.** Конструктивная схема командного прибора регулятора АРД-54:  *1* — анероидный сильфон; *2* — игольчатый клапан; *3* — мембрана узла избыточного давления; *4* — игольчатый клапан; *5* — трехходовой кран |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-rcvk7K.png |
| **Рис. 2.14.** Конструктивная схема клапана перепуска регулятора АРД-54:  *1* — дроссельное отверстие; *2* — мембрана клапана перепуска; *3* — мембрана; *4* — клапан перепуска |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-8k5pn0.png |
| **Рис. 2.15.** Конструктивная схема демпфера регулятора АРД-54:  *1* — мембрана; *2* — дроссельное устройство: *3* — игольчатый клапан |

*Б* и *Г* сообщаются между собой через дросселирующее отверстие, которое регулируется иглой дроссельного устройства *2.*

**Основные технические данные регулятора АРД-54**

|  |  |
| --- | --- |
| Избыточное давление воздуха в герметической кабине до высоты 2 *км* при расходе воздуха 1000 *кГ/час* . . | Не более 25 *мм рт. ст.* |
| Постоянное абсолютное давление в кабине при расходе воздуха от 50 до 1000 *кГ/час*........... | 596±15 *мм рт. ст.* |
| Избыточное давление воздуха в кабине: |  |
| с высоты 4,3 до 20 *км* (боевой режим) ...... | 147±15 *мм рт. ст.* |
| с высоты 7,1 до 20 *км* (нормальный режим) .... | 294±15 *мм рт. ст.* |
| Скорость изменения давления при переходе с боевого режима на нормальный.............. | 1,5—5,0 *мм рт. ст./сек* |

Для кабин малого объема самолетов с большими вертикальными скоростями применяется регулятор давления АРД-57 с коррекцией

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-i1lBSk.png |
| **Рис. 2.16.** Внешний вид командного прибора АРД-57:  *I* — узел абсолютного давления; *II* — узел избыточного давления: *III* — трехходовой кран |

абсолютного давления по высоте полета, выполненный по кинематической схеме, показанной на рис. 2.11. Регулятор АРД-57 состоит из командного прибора и клапана перепуска. Внешний вид командного прибора показан на рис. 2.16.

Трехходовой кран командного прибора имеет три положения:

— «Включено» — для нормальной работы регулятора;

— «Проверка» — для проверки избыточного давления в кабине;

— «Выключено» — для проверки кабины на герметичность в наземных условиях.

Конструкция командного прибора АРД-57 показана на рис. 2.17. Командный прибор регулятора давления АРД-57 имеет малые габариты и симметричную компоновку узла избыточного давления относительно узла абсолютного давления. Клапан перепуска  {52}  выполнен по аналогичной конструктивной схеме, что и клапан регулятора АРД-54.

**Система регулирования температуры.** Регулирование температуры в кабине можно осуществить изменением теплосодержания поступающего в кабину свежего воздуха. Для автоматического управления краном, распределителя воздуха и смешения его холодных и горячих масс (для сохранения в воздухе требуемого теплосодержания) применяются специальные регуляторы температуры. Регулирование температуры вследствие пониженных требований к точности ее стабилизации может быть осуществлено регуляторами сравнительно простых схем.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-8nYd7T.png |
| **Рис.** 2.17. Конструктивная схема командного прибора АРД-57:  *1* — пружина узла избыточного давления: *2* — игольчатый клапан; *3* — сильфон; *4* — пружина; *5* — мембрана узла абсолютного давления; *6* — игольчатый клапан; *7* — мембрана узла избыточного давления |

Схема регулятора температуры. Для регулирования температуры воздуха в герметических кабинах вентиляционного типа широко применяется регулятор температуры РТВК-45М. Принципиальная электрическая схема такого регулятора температуры показана на рис. 2.18. Регулятор состоит из термостата, располагаемого в герметической кабине, блока реле и исполнительного электромеханизма, управляющего краном распределителя воздуха. Термостат включает чувствительный элемент *1* в виде биметаллической спирали, релейный усилитель *8* в виде контактного устройства, электромагнит *3* жесткой обратной связи, подвижный контакт *2.* Блок реле является промежуточным звеном, соединяющим термостат с исполнительным электромеханизмом. Блоком реле управляют контакты термостата. Контакты блока реле, в свою очередь, управляют исполнительными электромеханизмами.

Исполнительный электромеханизм состоит из электродвигателя, редуктора с передаточным числом 1 : 14658, потенциометра обратной связи и выходного рычага.

Регулятор работает следующим образом. На рычаг *2* с подвижным контактом действуют два момента: момент биметаллического  {53}  элемента (спирали) *1* и момент электромагнита *3* обратной связи. При температуре в кабине, равной заданной, подвижный контакте находится в нейтральном положении под действием указанных двух равных противоположно направленных моментов. Так как момент биметаллической спирали зависит от температуры спирали, то при отклонении температуры от заданной нарушается равновесие моментов, действующих на подвижный контакт. В результате замыкается контактное устройство *8*, срабатывает

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-aODn6L.png |
| **Рис. 2.18.** Принципиальная электрическая схема регулятора температуры PTBK-45M:  *1* — биметаллический теплочувствительный элемент; *2* — рычаг с подвижным контактом; *3* — электромагнит обратной связи; *4* — искрогасительное устройство; *5* — промежуточные реле; *6* — сервомоторы (электродвигатели); *7* — потенциометры обратной связи: *8* — релейный усилитель |

промежуточное реле РП-2 и на сервомотор *6* исполнительного органа подается электрический сигнал, под действием которого он срабатывает в сторону компенсации отклонения температуры от заданной.

При перемещении исполнительного органа в новое положение при постоянно действующем внешнем возмущении, например в виде изменения высоты полета, одновременно с исполнительным органом перемещается ползунок потенциометра *7* обратной связи в сторону изменения тягового усилия на электромагните *3* с таким расчетом, чтобы наступило равновесие сил, действующих на подвижный контакт *2.* Применяемая в регуляторе электрическая жесткая обратная связь обеспечивает необходимую устойчивость системы регулирования и пропорциональную зависимость между отклонениями регулируемой температуры от заданного значения и перемещением регулирующего органа. В схеме регулятора РТВК-45М (рис. 2.18) предусмотрены два серводвигателя *6* на случай управления двумя параллельно работающими кранами распределителя воздуха системы наддува кабины.

**Краткие технические данные регулятора РТВК-45М**

|  |  |
| --- | --- |
| Регулятор поддерживает заданную температуру воз- духа с погрешностью .............. | ±2,5°С |
| Остаточная неравномерность........... . | 4±1°С |
| Зона нечувствительности регулятора ........ | ±1,5°С |
| Потребляемый электродвигателем ток при номинальной нагрузке...................... | Более 1 *a* |
| Время поворота выходного вала на максимальный угол...................... . | 45 *сек* |

**Системы регулирования влажности.** При длительных высотных полетах в кабинах вентиляционного типа наблюдается заметное осушение воздуха вследствие недостатка влаги в атмосферном

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-QwZe_b.png |
| **Рис. 2.19.** Принципиальная схема электролитического датчика влажности:  *1* — втулка из органического стекла: *2* — твердый электролит (полистирольный лак с добавкой хлористого лития); *3* — платиновая проволока (электроды): *4* — токоподводы |

воздухе, нагнетаемом компрессором газотурбинного двигателя. В кабинах регенерационного типа в отличие от кабин вентиляционного типа, наоборот, наблюдается излишнее увлажнение воздуха.

Необходимая величина относительной влажности воздуха кабины может поддерживаться автоматически путем использования в системах кондиционирования специальных регуляторов влажности. Одним из основных элементов регулятора влажности является датчик влажности, реагирующий на изменение относительной влажности воздуха. Принцип действия датчика влажности обусловливается положенным в основу его устройства методом определения влажности воздуха. Из известных методов наиболее широкое применение получили следующие методы определения относительной влажности: психрометрический, точки росы, гигроскопический.

Психрометрический метод основан на измерении разности показаний двух термометров, один из которых замеряет температуру насыщенного воздуха, а другой — температуру исследуемого воздуха. По разности показаний двух термометров можно судить о степени насыщения влагой исследуемого воздуха. Чем меньше влажность испытуемой среды, тем больше разность показаний сухого и мокрого термометров.

В электрических психрометрах в качестве измерителей температуры могут быть использованы термометры сопротивления, включенные в мостовые схемы; при этом теплочувствительные элементы измерителей температуры сухого и влажного воздуха помещают в специальную трубку, по которой вентилятором прогоняется испытуемый воздух.  {55}

При определении относительной влажности по методу точки росы фиксируется температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, достигает состояния насыщения и начинает конденсироваться. Для нахождения точки росы охлаждают некоторую поверхность до тех пор, пока водяной пар из слоя воздуха, примыкающего к этой поверхности, не начнет на ней конденсироваться. В момент появления конденсата на поверхности фиксируется температура исследуемого воздуха и температура вблизи поверхности, подвергающейся конденсации. Затем по специальной таблице определяется относительная влажность воздуха.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-4LXNdQ.png |
| **Рис. 2.20.** Эквивалентная схема сопротивления электролитического датчика влажности |

Появление точки росы сильно зависит от состояния охлаждаемой поверхности, ее чистоты, шероховатости и степени смачиваемости. Вследствие указанного измерители влажности, основанные на методе точки росы, в практике применяются ограниченно.

Гигроскопический метод основан на способности некоторых материалов органического или неорганического происхождения приводить свою собственную влажность в соответствие с влажностью исследуемого воздуха. Указанное свойство является результатом поглощения влаги из воздуха или испарения излишней собственной влаги при изменяющейся влажности окружающего воздуха. Вместе с изменением влажности эти материалы либо изменяют свои электрические свойства, либо деформируются.

Датчик измерителя влажности, основанный на свойстве неорганической пленки изменять свою электропроводность при изменении влажности, называют электролитическим датчиком. Он изготовляется из полимера с примесью хлористого лития LiCl. Принципиальная схема электролитического датчика приведена на рис. 2.19.

На наружной поверхности втулки, покрытой полистирольным лаком с добавкой LiCl, расположена бифилярная платиновая проволока. Две платиновые проволоки бифилярной обмотки выполняют роль электродов твердого электролита, электропроводные свойства которого зависят от величины относительной влажности воздуха. Эквивалентная схема сопротивления электролитического датчика влажности приведена на рис. 2.20. При изменении величины относительной влажности изменяется поверхностное сопротивление электролитического датчика. Характеристика датчика влажности, изготовленного на основе полистирола, «загрязненного» хлористым литием, приведена на рис. 2.21. Из рассмотрения статической характеристики датчика влажности следует, что при увеличении относительной влажности поверхностное сопротивление датчика уменьшается, при уменьшении влажности — увеличивается.  {56}  Поверхностное сопротивление датчика при *r* = 50% составляет величину порядка 5 *ком.* Основным недостатком полистирольного датчика является его невысокая теплостойкость (порядка 70—80°С). В связи с этим допустимая плотность тока платиновых электродов не должна превышать 2 *а/мм*2.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-0r4HPJ.png |
| **Рис. 2.21.** Характеристика электролитического датчика влажности |

В последнее время в качестве чувствительного элемента измерителя относительной влажности воздуха стали широко использовать органические материалы в виде животных пленок. Указанные пленки представляют собой внутреннюю оболочку слепой кишки крупного рогатого скота, специальным образом обработанную. Датчик из животной пленки выполняется в виде мембраны, закрепленной на кольце. Мембрана имеет вид усеченного конуса, в середине которого имеется жесткий центр. Внешний вид датчика влажности из животной пленки показан на рис. 2.22.

Для иллюстрации на рис. 2.23 приведены статические характеристики различных датчиков, изготовленных из искусственного волокна некоторых видов, волоса и животной пленки.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-rcaBXn.png |
| **Рис. 2.22.** Внешний вид датчика из органической пленки |

Можно видеть, что наибольшей чувствительностью обладает животная пленка. Датчик из животной пленки обладает также лучшими динамическими характеристиками; постоянная времени при скорости обдува датчика до 4—5 *м/сек* лежит в пределах 11—24 *сек.* Датчик, выполненный из волоса, при тех же условиях имеет постоянную времени порядка 25 *сек.* Кроме указанного, датчик из животной пленки в виде мембраны обладает достаточной прочностью, которая характеризуется максимальной разрывной нагрузкой порядка 1 *кГ.* Рассмотренный датчик влажности из органической пленки (рис. 2.22) основан на принципе изменения деформации пленки в функции относительной влажности воздуха.

Поддержание в кабине заданной относительной влажности воздуха достигается либо искусственным введением паров воды в  {57}  систему кабины вентиляционного типа, либо поглощением излишнего количества влаги специальным осушителем, помещенным в кабине регенерационного типа.

Блок-схема системы регулирования влажности в основном определяется способом поддержания необходимой величины влажности

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-tBvfBr.png |
| **Рис. 2.23.** Статические характеристики датчиков влажности |

воздуха в кабине. Однако конкретные блок-схемы будут схожи между собой и отличаться лишь исполнительными органами, обусловленными регулирующими факторами. Блок-схема, изображенная на рис. 2.24, может быть использована в системе кондиционирования кабины вентиляционного типа.

В схеме в качестве чувствительного элемента используется электролитический датчик, задатчиком служит переменное сопротивление, включенное вместе с датчиком в схему сравнения электрических сигналов. Управляющий сигнал усиливается в кристаллическом усилителе и поступает на сервомотор, являющийся обычным соленоидным электрокраном. Соленоидный

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Na4vHV.png |
| **Рис. 2.24.** Блок-схема системы регулирования влажности:  *ГК* — герметическая кабина: *ЧЭ* — чувствительный элемент по влажности; *ЗВ* — задатчик влажности; *У* — усилитель: *С* — сервомотор: *ОС* — обратная связь; *В* — запас воды: *ФУ* — форсуночный увлажнитель |

электрокран служит для подачи воды в форсуночный увлажнитель. Принципиальная схема форсуночного увлажнителя приведена на рис. 2.25. Вода поступает под давлением порядка 1,2 *ат* через змеевик в форсуночный распылитель. В змеевике вода подогревается горячим воздухом рт компрессора газотурбинного  {58}  двигателя. Для подсасывания и распыления воды к форсунке подводится сжатый воздух под давлением приблизительно 2 *ат.* Сжатый воздух, выходя с большой скоростью из форсунки, подсасывает воду и распыляет ее, образуя водяную пыль. Распыленная

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-6H6092.png |
| **Рис. 2.25.** Принципиальная схема форсуночного увлажнителя |

вода испаряется в горячем воздухе, который после увлажнения поступает на вход в кабину.

**§ 2.3. Принципиальные схемы систем кондиционирования воздуха герметических кабин летательных аппаратов**

**Принципиальная схема систем кондиционирования воздуха в герметической кабине самолета-истребителя.** Вентиляция и регулирование

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-HgMwIK.png |
| **Рис. 2.26.** Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха в герметической кабине самолета-истребителя:  *1* — диффузор компрессора авиадвигателя; *2* — электромеханизм крана — распределителя воздуха; *3* — турбохолодильник; *4* — обратный клапан; *5* — блок реле РП-2; *6* — кран питания; *7* — ограничитель давления в коллекторе; *8* — коллектор обдува ног летчика; *9* — штуцер подключения наземного кондиционера; *10* — коллектор обдува фонаря; *11* — переключатель режима работы регулятора температуры; *12* — рукоятка управления краном подачи воздуха; *13* — регулятор давления; *14* — предохранительный клапан; *15* — клапан перепуска воздуха регулятора давления; *16* — термостат регулятора температуры РТВК-45М |

основных параметров воздуха в кабине обеспечиваются системой кондиционирования, принципиальная схема которой приведена на рис. 2.26.  {59}

Согласно принципиальной схеме сжатый горячий воздух соответствующей ступени компрессора по питающей магистрали подходит к крану — распределителю воздуха, являющемуся исполнительным органом регулятора температуры.

После крана-распределителя питающая магистраль разделяется на две магистрали: горячую и холодную. Воздух по холодной магистрали направляется к диффузору *1* авиадвигателя, выполняющего роль в данном случае теплообменника, а затем к турбо-холодильнику *3.* После соответствующего охлаждения воздух из холодной магистрали смешивается с воздухом из горячей магистрали и с определенным теплосодержанием по трубопроводу через

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-SQUmxy.png |
| **Рис. 2.27.** Закон изменения давления воздуха в кабине самолета-истребителя |

обратный клапан *4* направляется к крану питания *6.* От крана питания воздух по трубопроводу распределяется по коллекторам *8* и *10* обдува ног летчика и фонаря кабины.

Из коллекторов воздух отдельными струйками выходит в кабину, чем и обеспечивается равномерный прогрев или охлаждение газового объема и соответствующих поверхностей кабины. Из кабины воздух выходит в атмосферу через клапан перепуска *15* регулятора давления *13.*

Определяющими физиолого-гигиеническими параметрами герметической кабины, как было установлено, являются давление и температура воздуха в кабине. Давление в герметической кабине поддерживается с помощью регулятора *13* по определенному закону, причем закон изменения давления воздуха определяется типом кабины и летно-тактическими данными летательного аппарата.

Для кабин вентиляционного типа самолетов-истребителей характерен закон изменения давления воздуха, приведенный на  {60}  рис. 2.27. На рисунке показаны три зоны регулирования: зона свободной вентиляции до высоты полета 2,5 *км*; зона переменного перепада с высоты 2,5 до 12—13 *км* и, наконец, зона постоянного избыточного давления, равного 220 *мм рт. ст.*, которая начинается с высоты 13 *км.* Для реализации приведенного закона изменения давления может быть использован регулятор давления АРД-57 с коррекцией по высоте полета, работа которого описана в § 2.2 (рис. 2.11).

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-7Mjssr.png |
| **Рис. 2.28.** Конструктивная схема предохранительного клапана |

Помимо регулятора давления, в схеме (рис. 2.26) на случай отказа регулятора *13* предусмотрен предохранительный клапан *14*, схема которого приведена на рис. 2.28. По конструкции предохранительный клапан является пружинным тарельчато-кольцевого типа. Он предназначен для предохранения кабины от разрушения при повышении избыточного давления в ней и регулируется на давление, немного превышающее максимально избыточное давление, поддерживаемое регулятором *13* (рис. 2.26). Предохранительный клапан срабатывает по достижении в кабине избыточного давления около 240–280 *мм рт. ст.* и стравливает излишний воздух в атмосферу.

Предусмотренные в схеме обратные клапаны *4* предназначены для мгновенного отключения герметической кабины от питающей магистрали при выходе из строя компрессора авиадвигателя или при повреждении питающего кабину трубопровода. Это необходимо для предотвращения мгновенной разгерметизации кабины через питающую магистраль, а следовательно, для избежания явления декомпрессии в кабине. Схема клапана *4* показана на рис. 2.29.

Кран питания *6* (рис. 2.26) предназначен для перекрытия подачи воздуха из компрессора авиадвигателя при пожаре на двигателе. В период проверки кабины на герметичность (при работающих авиадвигателях) краном питания можно обеспечить плавное нарастание избыточного давления воздуха в кабине.

В систему кондиционирования воздуха согласно принципиальной схеме (рис. 2.26) входит турбохолодильная установка, состоящая из воздухо-воздушного радиатора (ВВР) и турбохолодильника *3.* На самолетах-истребителях в зависимости от требуемой глубины охлаждения и расхода воздуха устанавливаются различные турбохолодильные установки, в основном отличающиеся числом оборотов ротора турбины, габаритами турбохолодильника и компоновкой последнего с ВВР.  {61}

В практике установлено, если турбохолодильник монтируется с ВВР единым агрегатом, то система охлаждения именуется как турбохолодильная установка (ТХУ).

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-IkLFR_.png |
| **Рис. 2.29.** Конструктивная схема обратного клапана |

Если турбохолодильник монтируется отдельно от ВВР, то холодильная установка именуется как турбохолодильник (ТХ).

Эффект охлаждения воздуха в турбохолодильнике основан на преобразовании тепловой энергии воздуха в механическую работу.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-H56cov.png |
| **Рис. 2.30.** Принципиальная схема турбо-холодильника:  *1* — сопловой аппарат; *2* — воздушная турбина; *3* — вентилятор; *4* — теплообменник |

Принципиальная схема турбохолодильника дана на рис. 2.30. Работа турбохолодильника сводится к следующему. В сопловом аппарате *1* воздушной турбины *2* воздух приобретает повышенную скорость истечения, что обеспечивает преобразование потенциальной энергии в кинетическую, часть которой используется на вращение ротора, нагруженного вентилятором *3.* Воздух, совершив адиабатическую работу на лопатках турбины, теряет приблизительно 90% своей начальной скорости, приобретенной в сопловом аппарате, и сходит с лопаток, имея меньшие скорость, давление и температуру. Согласно принципиальной схеме (рис. 2.30) турбохолодильник устанавливается в холодной магистрали после воздухо-воздушного радиатора (теплообменника). Таким образом, горячий воздух от компрессора авиадвигателя при температуре порядка 300°С вначале поступает в теплообменник,  {62}  где охлаждается до температуры приблизительно 70°С, а затем при температуре 70°С и давлении до 4—5 *ат* воздух поступает на турбохолодильник и выходит из него при давлении порядка 1,5 *ат* и температуре до 0°С.

Температура воздуха в герметической кабине поддерживается на необходимом уровне термостатом *16* регулятора температуры (рис. 2.26). Нужная температура устанавливается по шкале задатчика, который монтируется на термостате регулятора температуры. При отклонении температуры воздуха в кабине от заданного значения регулятор автоматически включает электромеханизм *2* крана — распределителя воздуха. Кран срабатывает в сторону увеличения подачи холодного или горячего воздуха. По достижении в кабине заданной температуры регулятор размыкает электрическую цепь и распределитель останавливается в положении, соответствующем подаче в кабину смеси холодного и горячего воздуха в необходимом соотношении. Электромеханизм *2* крана-распределителя может управляться как автоматически, так и вручную посредством дистанционного управления. Дистанционное электрическое управление краном-распределителем осуществляется четырехпозиционным переключателем *11.*

При установке переключателя в положение «Холодный» воздух направляется через распределитель к диффузору *1* и к турбохолодильнику *3*, а затем в кабину, при этом поступает только охлажденный воздух.

При установке переключателя в положение «Горячий» распределитель направляет в кабину только теплый воздух. Для автоматического управления краном — распределителем воздуха необходимо переключатель устанавливать в положение «Автомат».

Контроль за работой системы кондиционирования воздуха в кабине ведется по специальным контрольно-измерительным приборам. В частности, работа регулятора давления контролируется по указателю высоты и перепада давления воздуха в кабине (УВПД). На рис. 2.31 приведена кинематическая схема прибора УВПД-20. Этот прибор предназначен для измерения высоты и избыточного давления в кабине. Указатель высоты и перепада давления представляет собой комбинированный прибор, состоящий из барометрического высотомера и манометра мембранного типа, которые помещены в одном корпусе и работают независимо друг от друга. Абсолютное давление в кабине воспринимается анероидом *2*, деформация которого передаточным механизмом передается на лимб указателя высоты в кабине. Перепад давления воспринимается манометрической коробкой *3*, которая имеет ступенчатую характеристику по жесткости. Если давление в кабине больше, чем в окружающей самолет атмосфере (положительный перепад), то мембрана имеет наибольшую жесткость, поскольку прогибаются сразу все четыре мембраны. Если давление в кабине меньше, чем в окружающей самолет атмосфере (отрицательный перепад), то мембрана имеет наименьшую жесткость, в прогибе участвуют только две  {63}  наружные мембраны — в это время внутренние мембраны выключены. Манометрическая коробка со ступенчатой характеристикой по жесткости обеспечивает различный масштаб шкалы прибора. Масштаб шкалы положительных значений перепада давления меньше, чем масштаб отрицательных значений.

Прибор УВПД-20 имеет следующие технические характеристики:

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-GYZw74.png |
| **Рис. 2.31.** Кинематическая схема прибора УВПД-20:  *1* — указатель высоты в кабине: *2* — анероид; *3* — манометрическая коробка: *4* — указатель перепада давления в кабине |

1. Прибор измеряет высоту в кабине от 0 до 20 *км* и перепад между давлением в кабине и в окружающей самолет атмосфере от –0,04 до +0,6 *ат.*

2. Погрешность показаний высотомера не превышает ±300 *м*, причем наибольшая погрешность соответствует «высотам» в кабине 18—20 *км.*

3. Погрешность показаний манометра не превышает для положительных перепадов ±0,02 *ат*; для отрицательных перепадов ±0,01 *ат.*

**Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха в герметической кабине самолёта-бомбардировщика.** Поскольку экипаж самолета-бомбардировщика находится более продолжительное время в условиях высотного полета, то для создания наиболее благоприятного микроклимата в кабине в системе кондиционирования воздуха самолета-бомбардировщика дополнительно используется ряд регуляторов и контрольно-измерительных приборов.  {64}

Принципиальная схема системы кондиционирования приведена на рис. 2.32. Согласно схеме сжатый горячий воздух от запорного клапана *1* направляется к крану — распределителю *2* воздуха,

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-dIBiGx.png |
| **Рис. 2.32.** Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха в герметической кабине самолета-бомбардировщика:  *1* — запорный кран наддува; *2* — кран-распределитель воздуха; *3* — регулятор абсолютного давления; *4* — трубка Вентури; *5* — обратный клапан горячей линии; *6* — штуцер наземного кондиционера; *7* — клапан коллектора обдува термостата; *8* — термостат регулятора температуры PTBK-45M; *9* — блок реле РП-2; *10* — щиток управления системой кондиционирования; *11* — указатель высоты и перепада давления в кабине (УВПД); *12* — коллектор обдува; *13* — клапан перепуска воздуха регулятора давления; *14* — предохранительный клапан; *15* — обратный клапан холодной линии; *16* — турбохолодильная установка |

являющемуся исполнительным органом регулятора температуры. После распределения воздух идет по двум магистралям. В одной из магистралей устанавливается регулятор *3* постоянного абсолютного

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-A1hjqq.png |
| **Рис. 2.33.** Закон изменения давления воздуха в кабине самолета-бомбардировщика |

давления воздуха, который совместно с трубкой Вентури *4* образует контур регулятора весового расхода воздуха. В другой магистрали монтируется турбохолодильная установка *16*, выполняющая роль не только устройства для охлаждения воздуха, но и регулятора расхода воздуха. Воздух с определенным теплосодержанием, проходя через обратные клапаны *5* и *15*, направляется к коллектору *12*, а затем в соответствующий участок кабины. Из кабины воздух сбрасывается в атмосферу через клапан *13* перепуска регулятора давления.

С изменением высоты полета давление воздуха в кабине  {65}  самолета-бомбардировщика чаще всего поддерживается согласно закону, выраженному графиком, приведенным на рис. 2.33. Для реализации приведенного закона изменения давления используется регулятор давления АРД-54.

При полете на высоте от 0 до 2 *км* давление в кабине изменяется соответственно барометрическому давлению в атмосфере.

На высоте от 2 до 7 *км* в кабине поддерживается постоянное абсолютное давление, соответствующее высоте 2 *км.* С высоты 7 *км* и до практического потолка полета в кабине поддерживается постоянное избыточное давление.

Из графика на рис. 2.33 видно, что до высоты полета 7 *км* в кабине поддерживается абсолютное давление воздуха на уровне 600 *мм рт. ст.*; при этом парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе составляет величину

|  |  |
| --- | --- |
| (600 – 47) · 21  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-x9YaPI.png  100 | = 116 *мм рт.ст.* > (*р*O2)пред. |

Следовательно, до указанной высоты полета требуемое для дыхания парциальное давление кислорода в кабине обеспечивается принудительной подачей в нее атмосферного воздуха.

На высоте полета более 8 *км* парциальное давление кислорода в кабине становится менее предельно допустимого значения (*р*O2)пред = 98 *мм рт.ст.*

Таким образом, на высоте полета более 8 *км* летный экипаж должен пользоваться системой кислородного питания. О достижении предельной «высоты» в кабине, начиная с которой летный экипаж обязан пользоваться системой кислородного питания, извещает высотный сигнализатор. Действие высотного сигнализатора основано на принципе барометрического высотомера. Принципиальная схема сигнализатора дана на рис. 2.34. По достижении предельной «высоты» в кабине в результате деформации блока анероидов *3* срабатывает микровыключатель *7*, который замыкает электрическую цепь световой и звуковой сигнализации. Высотный сигнализатор с помощью лимба задатчика высоты *4* может устанавливаться на любую «высоту» в кабине в пределах от 2,5 до 4,5 *км* в зависимости от полученной летным экипажем высотной подготовки.

Для предохранения кабины от разрушения при выходе из строя регулятора давления АРД-54, а также аварийного сброса давления в схеме (рис. 2.32) предусмотрен предохранительный клапан *14.* Кинематическая схема одного из таких клапанов приведена на рис. 2.35. Данный клапан устанавливается снаружи герметической кабины. В клапане имеются две полости: *А* и *Б*, причем полость *А* сообщается через отверстие в трубке с кабиной, а полость *Б* сообщается через отверстие в диске *2* с атмосферой. В конструкции клапана предусмотрено два задатчика давления. Один задатчик давления выполнен в виде пружины *6*, другой — в виде пружины *5.* Первый задатчик давления (с пружиной *6*)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-VUg8h9.png | | |
| **Рис. 2.34.** Принципиальная схема высотного сигнализатора:  *1* — микровыключатель; *2* — подвижный центр блока анероидов; *5* — блок анероидов; *4* — задатчик высоты | | |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-oGnkzj.png | | |
| **Рис. 2.35.** Кинематическая схема предохранительного клапана:  *1* — трубка; *2* — отверстие в диске; *3* — штуцер электрокрана; *4* — вспомогательный клапан перепуска; *5* — пружина второго задатчика давления: *6* — пружина первого задатчика давления; *7* — мембрана: *8* — основной клапан перепуска | | |

совместно с мембраной *7* реагирует на положительный перепад давления между кабиной и атмосферой. Второй задатчик давления (с пружиной *5*) совместно с мембраной *7* реагирует на отрицательный перепад давления между атмосферой и кабиной.

Основной клапан *8* перепуска при заданном давлении воздуха в кабине всегда находится в закрытом положении. Если положительный перепад давления в кабине становится больше заданного, то под действием избыточного давления в кабине мембрана *7* прогибается вправо и преодолевает жесткость пружины *6.* В результате вспомогательный клапан *4* перепуска открывается и давление

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-zfLo5C.png |
| **Рис. 2.36.** Кинематическая схема прибора УВПД-15:  *1* — указатель высоты в кабине; *2* — анероидный блок; *3* — манометрическая коробка; *4* — указатель перепада давления в кабине |

в полости *А* падает до атмосферного. Вследствие этого возникает перепад давления на основном клапане *8*, под действием которого он открывается, и давление в кабине падает до заданного значения.

Если в кабине возникнет отрицательный перепад давления, то мембрана *7*, прогибаясь влево, преодолеет жесткость пружины *5* и откроет основной клапан *8* перепуска. Тогда воздух из атмосферы поступит непосредственно в кабину и ликвидирует отрицательный перепад.

Для аварийного сброса давления достаточно сообщить полость *А* с атмосферой через штуцер *3.*

Контроль за величиной давления в кабине осуществляется с помощью указателя высоты и перепада давления типа УВПД-15, схема которого приведена на рис. 2.36. По принципу действия данный прибор аналогичен УВПД-20. «Высота» в кабине определяется по шкале, окрашенной в голубой цвет.

Положительный перепад давления воздуха в кабине фиксируется по шкале, окрашенной в черный цвет, а отрицательный  {68}  перепад — по шкале, окрашенной в красный цвет. Различный масштаб шкалы указателя перепада давления обеспечивается, так же как и в приборе УВПД-20, сдвоенной мембраной. При положительном перепаде манометрический чувствительный элемент имеет наибольшую жесткость, поскольку в прогибе участвуют сразу две мембраны. При отрицательном перепаде работает только одна внутренняя мембрана.

Указатель высоты и перепада давления УВПД-15 характеризуется следующими данными:

1. Прибор измеряет «высоту» в кабине от 0 до 15 *км.* Погрешность показаний высотомера не превышает ±300–500 *м.*

2. Прибор измеряет перепад давления воздуха в кабине и в окружающей самолет атмосфере в пределах от –0,4 до +0,6 *ат.* Погрешность показаний манометра не превышает для положительных перепадов ±0,02 *ат*; для отрицательных перепадов ±0,01 *ат.*

Температура воздуха в кабине поддерживается автоматически регулятором температуры типа РТВК-45М или вручную путем дистанционного управления электромеханизмом распределителя воздуха. Предусмотренная в системе кондиционирования турбо-холодильная установка (ТХУ) служит для охлаждения воздуха в одной из магистралей (рис. 2.32). В комплект ТХУ входят воздухо-воздушный радиатор, турбохолодильник и регулятор степени расширения воздуха. Принципиальная схема турбохолодильной установки показана на рис. 2.37. Согласно этой схеме воздухо-воздушный радиатор выполняет роль первого каскада охлаждения горячего воздуха, поступающего от компрессора газотурбинного двигателя. Турбохолодильник предназначен для последующего окончательного охлаждения воздуха. Регулятор *3* степени расширения обеспечивает заданный перепад давления воздуха на лопатках турбины, а следовательно, поддерживает необходимую скорость вращения ротора турбины. Чувствительным элементом регулятора степени расширения является дифференциальный манометр *4*, реагирующий на перепад давления (*р'*1 – *р*1); причем давление воздуха перед турбиной *р'*1 всегда больше давления воздуха на выходе из турбины *р*1. Роль сервомотора регулятора выполняет дроссельный механизм *5*, обеспечивающий снижение давления перед турбохолодильником.

Регулятор *3* работает следующим образом. Если перепад давления на турбине (*р'*1 – *р*1) превышает заданный, то дифференциальный манометр в результате прогиба мембраны вверх обеспечивает подачу воздуха в надмембранную полость дроссельного механизма. Повышение давления в корпусе дроссельного механизма вызывает перекрытие дроссельной заслонкой магистрали наддува. Это приводит к снижению давления перед турбиной. Таким образом, обеспечивается постоянство давления перед турбохолодильником. В результате работы регулятора будет обеспечиваться не только постоянный температурный перепад воздуха в ТХ, но и  {69}  вполне определенный весовой расход воздуха через турбину, так как давление перед турбиной все время поддерживается постоянным. В системах охлаждения могут использоваться также испарительные теплообменники.

Температурный режим в кабине контролируется электрическим термометром сопротивления типа ТУЭ-48.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-kREMVU.png |
| **Рис. 2.37.** Принципиальная схема турбохолодильной установки (ТХУ):  *1* — воздушная турбина; *2* — вентилятор; *3* — регулятор степени расширения; *4* — дифференциальный манометр; *5* — дроссельный механизм; *6* — воздухо-воздушный радиатор |

Для определения весового расхода воздуха, поступающего в кабину, применяется расходомер воздуха. Датчиком расходомера является трубка Вентури, смонтированная в питающей магистрали, через которую воздух направляется к коллекторам. Указателем расходомера является манометрический прибор, воспринимающий сигнал с трубки Вентури. Принципиальная схема расходомера дана на рис. 2.38.

Весовой расход воздуха *G* через трубку Вентури может быть определен по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-zr5WbG.png | (2.15) |

где *р*1 — давление воздуха перед узким сечением трубки Вентури;

Δ*р* — перепад давления, создаваемый трубкой;

*с* — коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров трубки и параметров воздуха, в частности температуры.  {70}

Таким образом, для замера весового расхода воздуха необходимо иметь чувствительный элемент, реагирующий на изменение перепада давления, создаваемого трубкой, а также чувствительный элемент, реагирующий на изменение статического давления в трубке. Для этого в кинематической схеме указателя расходомера предусмотрены два чувствительных элемента: манометрическая

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-wKKUsT.png |
| **Рис. 2.38.** Принципиальная схема расходомера воздуха:  *1* — анероидный блок; *2* — стрелка указателя; *3* — манометрическая коробка; *4* — трубка Вентури |

коробка *3* и анероидный блок *1.* Величина прогиба манометрической коробки изменяется в зависимости от разности давлений, а прогиб анероидного блока — от статического давления в трубке Вентури.

Расход воздуха является основным внешним возмущением для систем регулирования параметров воздуха в кабине.

Для ограничения влияния расхода воздуха на работу систем регулирования, а также для обеспечения на период всего полета в кабине как можно меньшего количества вредных примесей целесообразно выбрать закон постоянной по величине весовой подачи  {71}  воздуха в кабину на всех основных режимах работы компрессора газотурбинного двигателя.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-SEeD3t.png |
| **Рис. 2.39.** Конструкция регулятора абсолютного давления:  *1* — неподвижный стакан; *2* — плунжер: *3* — анероидный сильфон; *4* — пружина |

В качестве регулятора расхода, обеспечивающего постоянную весовую подачу воздуха в кабину, может быть использовано устройство, состоящее из регулятора абсолютного давления и трубки Вентури.

Регулятор давления служит для поддержания постоянного абсолютного давления перед трубкой Вентури, а трубка Вентури выполняет роль измерителя величины расхода воздуха, проходящего через нее.

В рассматриваемой системе кондиционирования воздуха (рис. 2.32) предусмотрен регулятор *3* абсолютного давления, который совместно с трубкой Вентури *4* выполняет роль регулятора весового расхода воздуха.

Конструкция регулятора абсолютного давления прямого действия дана на рис. 2.39. Регулятор работает следующим образом. Воздух по трубопроводу подводится к входным отверстиям регулятора давления, сделанным в неподвижном стакане *1*. Входные отверстия в стакане *1* перекрываются плунжером *2*, связанным с подвижным центром анероидного сильфона *3.* Сильфон является чувствительным элементом регулятора, который реагирует на изменение давления перед трубкой Вентури (рис. 2.32). Сильфон с пружиной подбирается так, чтобы получить такую величину постоянного абсолютного давления перед трубкой, при которой обеспечивается закритический случай истечения воздуха. Обычно давление воздуха перед трубкой принимается не менее 1,3—1,5 *ат.* При увеличении давления воздуха на входе трубки Вентури выше расчетной величины примерно на 0,2 *ат* сильфон *3* сжимается  {72}  и перемещает плунжер *2*, который перекрывает прорези стакана *1.* В результате проходное сечение прорезей в стакане *1* уменьшается и это обеспечивает уменьшение давления перед трубкой.

Качество работы системы кондиционирования воздуха во многом зависит от степени герметичности кабины. Поэтому при эксплуатации самолета обязательно производится проверка кабины на герметичность.

Герметические кабины самолетов считаются пригодными к эксплуатации, если утечка воздуха из кабины при наличии избыточного давления в ней не превосходит некоторой максимально допустимой величины.

Максимально допустимая величина утечки воздуха из кабины устанавливается из следующих соображений:

1. В нормальных условиях полета количество воздуха, вытекающего из кабины через различные неплотности, не должно превосходить минимально располагаемой подачи его при наддуве.

2. При отказе системы подачи воздуха в кабину скорость падения давления в ней вследствие утечки воздуха должна быть такой, чтобы избыточное давление в кабине уменьшалось до нуля лишь к моменту достижения самолетом безопасной для экипажа высоты (4—5 *км*). Это требование должно быть соблюдено главным образом для пассажирских самолетов, когда пассажиры не пользуются кислородными приборами. Если же экипаж пользуется кислородными приборами, безопасная высота может быть принята равной 8—10 *км.*

Чем больше высота полета самолета и чем ниже выбранная безопасная высота, тем меньше должна быть допустимая величина утечки воздуха, которая обычно задается в килограммах в час из расчета на 1 *м*3 объема кабины.

Для вентиляционных кабин при объеме кабины до 10 *м*3 допустимая в наземных условиях величина утечки принимается равной 6—12 *кг*/*час·м*3. При большем объеме кабины допускается величина утечки до 2—6 *кг*/*час·м*3.

При определении степени герметизации кабины требуется источник сжатого воздуха. В зависимости от условий технического обслуживания в качестве источника наддува кабины можно использовать аэродромный баллон со сжатым воздухом, когда не предусматривается включение авиадвигателей. При работающих двигателях наддув обеспечивается отбором воздуха из компрессора.

Поскольку прямое измерение количества воздуха, вытекающего из кабины через различные щели и отверстия, практически невозможно, проверку герметичности кабин производят косвенными методами.

Проверка герметичности кабины методом компенсации утечки из нее воздуха. Этот метод заключается  {73}  в том, что в кабину подается столько воздуха, сколько из нее вытекает через различные неплотности. При этом сохранение давления в кабине постоянным является достаточным контролем, свидетельствующим о равенстве подачи и утечки воздуха. На практике этот метод реализуется следующим образом. После герметизации кабины авиадвигатель выводится на режим среднего газа и постепенно открывается кран питания *6* (рис. 2.26). В результате в кабине начинает повышаться давление, которое контролируется по прибору УВПД-20. Давление в кабине до 0,32 *ат* следует поднимать плавно во избежание болевых ощущений в области среднего уха. Нарастание давления воздуха в кабине до указанной величины свидетельствует о достаточной степени герметизации кабины.

Проверка герметичности кабины методом измерения скорости падения в ней давления. Этот метод применяется, когда не предусматривается включение авиадвигателей.

Проверка кабины на герметичность при неработающих авиадвигателях производится таким образом:

— герметизируется кабина;

— закрывается кран питания *6* (рис. 2.26);

— открывается вентиль аэродромного баллона, и кабина наполняется воздухом; скорость нарастания давления при наполнении кабины не должна быть выше 0,1 *ат* за 1 *мин*;

— доводится давление до 0,35 *ат*, прекращается подача воздуха в кабину и замеряется время падения давления.

Экспериментально установлены следующие показатели степени герметизации кабин различного объема:

— кабина малого объема (до 2 *м*3) считается герметичной, если время падения давления воздуха в кабине с 0,3 до 0,1 *ат* составляет не менее 90 *сек*;

— кабина большого объема (более 3 *м*3) считается герметичной, если спад давления с 0,4 до 0,1 *ат* происходит за 12—17 *мин.*

**Глава 3**

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ КИСЛОРОДНОГО ПИТАНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**§ 3.1. Требования, предъявляемые к системам кислородного питания**

Системы кислородного питания предназначены для поддержания необходимой величины парциального давления кислорода во вдыхаемом человеком воздухе, когда парциальное давление кислорода в окружающей воздушной среде становится ниже нормального.

Работа системы кислородного питания экипажей летательных аппаратов до «высоты» 10 *км* в герметической кабине сводится к повышению процентного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе в зависимости от указанной «высоты», а на «высоте» в кабине свыше 12 *км* — к созданию определенной величины избыточного давления кислорода во вдыхаемом воздухе по сравнению с давлением окружающей воздушной среды.

К системам кислородного питания экипажей летательных аппаратов предъявляются следующие требования:

1. Кислородная система должна обладать повышенной надежностью; под этим понимается способность системы сохранять свои технические характеристики в заданных пределах при всех возможных режимах работы.

2. Технические характеристики систем кислородного питания должны соответствовать требованиям, обеспечивающим нормальную физиологию дыхания, т. е. при использовании кислородной системы человеком не должно наблюдаться каких-либо существенных изменений в условиях дыхания.

3. Система кислородного питания не должна утомлять человека и понижать его работоспособность.

4. Кислородная система должна быть экономичной по расходу кислорода.

5. Для обеспечения условия надежности работы кислородная система должна иметь специальные аварийные устройства.  {75}

6. Кислородная система должна соответствовать летно-тактическим данным самолета по высоте полета.

7. Помимо указанного, система кислородного питания экипажа должна соответствовать общим тактико-техническим требованиям, предъявляемым к авиационному оборудованию.

Определим основные технические характеристики систем кислородного питания, обусловленные физиологией дыхания человека.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-j6Twx3.png |
| Рис. 3.1. График потребного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе |

**Процентное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе.** Процентное содержание кислорода в системе питания рассчитывается из условия обеспечения во вдыхаемом воздухе такой величины парциального давления кислорода *р*0, которая соответствовала бы величине *р*0 в наземном атмосферном воздухе. Как известно, парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе (без учета остаточного объема воздуха в легких) при нормальных условиях определяется по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *р*O2 = | 21 (*p*0 – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-SAMv4I.png  100 | , | | (3.1) |

где 21 — процентное содержание кислорода в атмосферном воздухе;

*р*0 = 760 *мм рт. ст.* — абсолютное давление воздуха над уровнем моря при температуре 15°С;

47 *мм рт. ст.* — давление водяных паров в легких человека при температуре 37°С. Соответственно для высоты *Н* расчет парциального давления кислорода *р*0 ведется по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *р*O2 = | αO2(*pH* – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BrAOgD.png  100 | , | | (3.2) |

где αO2 — процентное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе на высоте *H*;

*рH* — атмосферное давление.

Приравнивая выражения (3.1) и (3.2), получим

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | αO2(*H*) = | *p*0 – 47  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Lp5mUk.png  *pH* – 47 | · 21. | | (3.3) |

График требуемого процентного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе, рассчитанный по формуле (3.3), приведен на рис. 3.1. Из графика видно, что для поддержания парциального  {76}  давления кислорода на заданном уровне (*р*0 = 150 *мм рт. ст.*) необходимо с высотой увеличивать процентное содержание кислорода, причем на высоте 10 *км* концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе должна достигать 100%.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BSQWoi.png |
| Рис. 3.2. Блок-схема образования потребной величины легочной вентиляции на выходе регулятора подачи (РП) |

**Потребный расход кислорода.** Для определения потребного расхода кислорода в системе кислородного питания рассмотрим схему образования необходимой величины легочной вентиляции на выходе регулятора подачи кислорода (рис. 3.2). Согласно указанной схеме величина легочной вентиляции *W* складывается из расхода дополнительного кислорода (VO2)доп, подаваемого на вход регулятора подачи (РП), и подсоса воздуха *V*в, т.е.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *W* = (VO2)доп + *V*в. | (3.4) |

В наземных условиях (*H* = 0) потребное количество кислорода для обеспечения нормального газообмена в организме человека определяется следующей зависимостью:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | VO2 = 0,21 *W*, | (3.5) |

где 0,21 — объемное соотношение кислорода в атмосферном воздухе.

При высотном полете (*Н* ≠ 0) потребное количество кислорода для дыхания определяется выражением

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| VO2 = | αO2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-gwBqJA.png  100 | *W*, |

где αO2 — процентное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе на высоте *H*.

Подставляя в последнее выражение значение αO2 из выражения (3.3), получим

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | VO2 = 0,21 | *p*0 – 47  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZYzxyi.png  *pH* – 47 | *W*. | | (3.6) |

В то же время потребное количество кислорода для дыхания при использовании кислородной системы может быть определено таким образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | VO2 = (VO2)доп + (VO2)в, | (3.7) |

где (VO2)в — количество кислорода в подсасываемом воздухе Vв (рис. 3.2).  {77}

С учетом выражения (3.4) зависимость (3.7) получит другой

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | VO2 = (VO2)доп + 0,21[W – (VO2)доп]. | (3.8) |

Если в выражение (3.8) подставить значение *VQ* из мости (3.6), то получим основную формулу для расчета дополнительной подачи чистого кислорода:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | VO2 = | 0,21  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-i3SGSp.png  0,79 | · | *p*0 – *pH*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WB6W0Q.png  *pH* – 47 | *W*. | | (3.9) |

По формуле (3.9) можно рассчитать потребный расход кислорода для человека в зависимости от высоты полета (давления *pH*) и потребной величины легочной вентиляции *W.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-qbIyXL.png |
| Рис. 3.3. График необходимой величины парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе по высотам |

Поскольку величина легочной вентиляции определяется физической нагрузкой человека и меняется в широких пределах (см. табл. 1.5), то зависимость (3.9) дает возможность ориентировочно рассчитать потребный расход чистого кислорода по высоте для какой-то осредненной величины легочной вентиляции *W*ср.

Обычно расчет производится для средней величины легочной вентиляции порядка 20 *л/мин.*

Анализ полученной зависимости (3.9) показывает:

— что в наземных условиях (*H* = 0) дополнительный расход чистого кислорода (VO2)доп = 0;

— что на высоте *H* = 10 *км* дополнительный расход чистого кислорода равен потребной величине легочной вентиляции, т. е.

**Необходимая величина парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе в зависимости от высоты полета.** Исходя из назначения кислородной системы, парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе должно поддерживаться на уровне

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *p*O2 = | 21 (760 – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-rdtmdx.png  100 | = 150 *мм рт. ст.* |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WN2K5Z.png | {78} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-PyMySO.png |

До высоты 10 *км* это условие обеспечивается обогащением вдыхаемого воздуха кислородом. Однако начиная с высоты 10 *км* согласно графику на рис. 3.3 это условие нарушается: на высоте 12 *км* парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *p*O2 = | 100 (*p*12 – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-3Co9NY.png  100 | = 98 *мм рт. ст.*, |

а на высоте 19 *км* оно составляет всего

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *p*O2 = | 100 (*p*19 – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-l0GU5N.png  100 | ≅ 1 *мм рт. ст.*, |

По физиологическим нормам разрешается снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе до 98 *мм рт. ст.* и даже до 68 *мм рт. ст.* в зависимости от времени пребывания на высотах более 12 *км.* Поэтому на высотах более 12 *км* продолжительные полеты возможны только в герметических кабинах и в скафандрах, внутри которых поддерживается повышенное давление (не менее *р*к ≥ 145 *мм рт. ст.*) по сравнению с окружающей атмосферой, так как в этом случае обеспечивается *р*0 = 145 – 47 = 98 *мм рт. ст.*

Наиболее распространенным в настоящее время средством спасения экипажа в случае разгерметизации кабины на высотах полета более 12 *км* является создание избыточного давления кислорода непосредственно в легких. С этой целью применяются кислородные системы с избыточным давлением кислорода по сравнению с давлением окружающей среды. В этом случае расчет парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе ведется по формуле

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *p*O2 = 0,21 | αO2(*pH* – 47)  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-8F3081.png  100 | + Δ*p*м, | | (3.10) |

где Δ*p*м — величина избыточного давления кислорода во вдыхаемом воздухе, *мм рт. ст.*

Для установившегося режима будем считать, что избыточное давление во вдыхаемом воздухе соответственно равно избыточному давлению в кислородной маске (гермошлеме) и в легких человека.

Избыточное давление в легких определяется по уравнению

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Δ*p* = *p*12 – *pH*, | (3.11) |

где *p*12 = 145 *мм рт. ст.* на высоте 12 *км.*

Максимальная величина избыточного давления в легких достигает Δ*p* ≤ 145 *мм рт. ст.* При такой величине избыточного давления кислорода в легких даже при полетах в верхних слоях атмосферы величина парциального давления кислорода будет не меньше

*р*0 = 145 – 47 = 98 *мм рт. ст.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-vAR3hG.png | {79} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-PjY4uA.png |

Таким образом, согласно формуле (3.10) для поддержания парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе на уровне не ниже 98 *мм рт. ст.* на высотах полета, превышающих 12 *км*, необходимо увеличивать избыточное давление кислорода в системе питания, обеспечивая величину абсолютного давления в легких на уровне 145 *мм рт. ст.* При этом можно совершать полеты в разгерметизированной кабине достаточно продолжительное время. При кратковременных полетах (5—10 *мин*) в тех же условиях для сохранения минимальной величины парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (68 *мм рт. ст.*) величина абсолютного давления в легких должна быть равна 115 *мм рт. ст.*

**Допустимые нормы избыточного давления кислорода в легких человека.** Создать избыточное давление кислорода в легких человека в зависимости от высоты полета с помощью технических средств не представляет труда; но при этом следует знать, что некоторые величины избыточного давления кислорода в легких человека могут вызвать ряд существенных нарушений в физиологии человека Так, например, при избыточном давлении в легких 25 *мм рт. ст.* ≤ Δ*p* ≤ 40 *мм рт. ст.* наблюдается нарушение ритма дыхания. Вдох происходит без участия в работе двигательных межреберных мышц, выдох, наоборот, становится настолько затруднительным, что двигательные мышцы уже не могут справиться с такой нагрузкой. Ритм дыхания расстраивается, и это может привести со временем к прекращению дыхания.

Для обеспечения возможности дыхания при избыточном давлении в легких, превышающем 25 *мм рт. ст.*, необходимо двигательным межреберным мышцам оказать помощь в виде внешнего давления на поверхность груди и живота, т. е. создать противодавление, равное по величине избыточному давлению в легких.

При избыточном давлении в легких 40 *мм рт. ст.* ≤ Δ*p* ≤ 75 *мм рт. ст.* кровеносные сосуды конечностей (вены) не могут противостоять соответствующему повышенному давлению крови и расширяются, вследствие чего в конечностях образуется застой крови. В результате нарушается подача крови к жизненно важным органам. Кроме того, при избыточном давлении Δ*p* > 40 *мм рт. ст.* на высоте более 19 *км* обостряется явление закипания крови человека. Для предотвращения указанного существенного расстройства кровообращения необходимо создать внешнее давление почти на всю поверхность тела человека.

При избыточном давлении кислорода в легких 75 *мм рт. ст.* ≤ Δ*p* ≤ 145 *мм рт. ст.*, кроме указанных выше физиологических расстройств, наступает расстройство органов зрения и слуха. Чтобы исключить данное явление, необходимо создать внешнее пневматическое давление на голову и шею человека.

Таким образом, только применение специальной компенсирующей одежды с герметическим шлемом или маской позволяет создать в легких человека избыточное давление Δ*p* ≤ 145 *мм рт. ст.*  {80}

**Допустимая величина сопротивления дыханию.** Параметр сопротивления дыханию имеет исключительно важное значение в системах кислородного питания, особенно при использовании принципа прерывной подачи кислорода к дыхательным путям человека.

Физиологическое исследование влияния сопротивления дыханию показывает, что при наличии сопротивления дыханию в альвеолярном воздухе уменьшается процентное содержание кислорода и, наоборот, увеличивается процентное содержание углекислого газа. Это явление объясняется тем, что отношение продолжительности вдоха к выдоху увеличивается. Такое явление приводит к тому, что частота дыхания и легочная вентиляция уменьшаются, уменьшается жизненная емкость легких, изменяются условия работы сердца. Поэтому качество работы системы кислородного питания определяется минимальной величиной сопротивления дыханию. В результате физиологических исследований было установлено, что сопротивление дыханию не должно превышать *H*с ≤ 15—40 *мм вод. ст.*

**Допустимые колебания давления альвеолярного воздуха в легких при смене фаз дыхания.** Колебания давления альвеолярного воздуха в процессе дыхания порождаются разрежением, возникающим в системе питания при вдохе, и избыточным давлением — при выдохе. Указанные колебания влекут за собой дополнительные нагрузки на двигательные межреберные мышцы.

При использовании системы кислородного питания амплитуда колебаний давления альвеолярного воздуха в легких при смене фаз дыхания (вдоха и выдоха) не должна превышать ±100 *мм вод. ст.*

**§ 3.2. Классификация систем кислородного питания**

Согласно техническим требованиям системы кислородного питания должны состоять из целого ряда специальных устройств, решающих в комплексе основную задачу надежного обеспечения человека кислородом при высотном полете. По принципу подачи системы кислородного питания можно разделить на три группы: системы кислородного питания непрерывной подачи; системы кислородного питания прерывной подачи; системы кислородного питания комбинированной подачи.

Блок-схема системы кислородного питания непрерывной подачи показана на рис. 3.4. Данная система по принципу работы является разомкнутой системой регулирования расхода кислорода. Количество подаваемого кислорода к дыхательным путям человека меняется в зависимости от высоты: чем больше высота, тем больше будет подача кислорода потребителю. Максимальная величина подачи кислорода обычно соответствует средней легочной вентиляции (порядка 20 *л/мин*).  {81}

Блок-схема состоит из следующих элементов: элемента *ЗК*, предназначенного для хранения необходимого запаса кислорода в системе питания, редуктора *РК*, регулятора непрерывной подачи кислорода *РНП* и кислородной маски *КМ.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ERUciQ.png |
| Рис. 3.4. Блок-схема системы кислородного питания непрерывной подачи:  *ЗК* — необходимый запас кислорода: *РК* — кислородный редуктор; *РНП* — регулятор непрерывной подачи; *КМ* — кислородная маска |

Редуктор служит для понижения и поддержания необходимого давления кислорода перед регулятором подачи. Регулятор непрерывной подачи кислорода обеспечивает потребный расход чистого кислорода, необходимого для дыхания, в зависимости от высоты. Кислородная маска предназначается для подачи кислорода к дыхательным путям. Система непрерывной подачи кислорода Может быть использована для питания кислородом одновременно нескольких человек. Однако данная система является неэкономичной по расходу кислорода; кроме того, в этой системе питания отсутствует необходимая органическая связь между потребной легочной вентиляцией и фактическим расходом кислорода O2.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-RAcKQ5.png |
| Рис. 3.5. Блок-схема системы кислородного питания прерывной подачи:  *ЗК* — необходимый запас кислорода; *РК* — кислородный редуктор; *РПП* — регулятор прерывной подачи; *КМ* — кислородная маска; *МИД* — механизм малого избыточного давления: *ЛПВ* — автомат подсоса воздуха; *КО* — компенсирующая одежда |

Блок-схема системы кислородного питания прерывной подачи изображена на рис. 3.5. Данная система является замкнутой системой регулирования расхода кислорода. В отличие от системы непрерывной подачи кислород подается к дыхательным путям  {82}  только во время вдоха и в соответствии с потребной величиной легочной вентиляции.

Необходимым условием нормальной работы системы прерывной подачи является ее достаточная герметичность. Если система подачи будет негерметична, то на высотах более 3 *км* организм начнет испытывать кислородное голодание. Для предотвращения указанного явления в блок-схеме предусмотрен механизм избыточного давления, который на высотах более 4 *км* поддерживает в замкнутой системе небольшое избыточное давление кислорода до 40 *мм вод. ст.*, исключающее подсос воздуха в кислородную маску, а на *H* > 12 *км*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-VT4yk1.png |
| Рис. 3.6. Блок-схема системы кислородного питания комбинированной подачи (позиции те же, что и на рис. 3.5; *РНП* — регулятор непрерывной подачи) |

обеспечивает большое избыточное давление. Автомат подсоса воздуха, предусмотренный в блок-схеме, обеспечивает в системе кислородного питания необходимую концентрацию кислорода во вдыхаемом воздухе. Система кислородного питания прерывной подачи является достаточно экономичной по расходу кислорода.

На рисунке 3.6 дана схема системы кислородного питания комбинированной подачи, представляющая собой комбинацию двух только что рассмотренных систем подачи кислорода.

В зависимости от условий работы кислородной системы («высоты» в кабине и легочной вентиляции) включается тот или иной контур подачи кислорода или оба вместе, тем самым создаются лучшие условия кислородного питания организма человека в полете. Применение подобной системы обеспечивает повышенную надежность подачи кислорода к дыхательным путям.

**§ 3.3. Принципиальные схемы элементов систем кислородного питания**

**Системы хранения химически чистого кислорода на борту летательного аппарата.** В системах кислородного питания экипажей самолетов используется как газообразный, так и жидкий кислород. Подробное описание систем хранения кислорода на борту летательных аппаратов и их характеристики даны в § 5.7, 5.8.  {83}

Степень использования газообразного кислорода в баллонах характеризуется следующим выражением:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | ηб = 0,21 | *p*бмакс – *p*бмин  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-56nuM_.png  *p*бмакс | · 100 [%], | | (3.12) |

где *p*бмакс — максимальное давление кислорода в баллоне;

*p*бмин — минимальное остаточное давление кислорода в баллоне.

Для обеспечения нормальной работы регулятора подачи в системе кислородного питания остаточное давление кислорода в баллоне должно соответствовать условию

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *p*бмин ≥ (2 ÷ 2,5) *p*р.п., | (3.13) |

где *p*р.п. — установочное давление кислорода в редукторе регулятора подачи (кислородном редукторе).

Установочное давление *p*р.п. для различных регуляторов подачи кислорода находится в пределах от 3 до 12 *ат*, поэтому практически ηб ≈ 80%.

Если в процессе работы системы кислородного питания будет нарушаться неравенство (3.13), то из-за уменьшения остаточного давления кислорода в баллоне произойдет уменьшение необходимого установочного давления в полости редуктора регулятора подачи. В результате этого уменьшится необходимая величина подачи кислорода к потребителю.

Кроме сказанного, остаточное давление кислорода препятствует проникновению влажного воздуха в баллоны и, следовательно, препятствует возникновению коррозии их внутренних стенок.

Необходимый запас жидкого кислорода хранится в самолетных кислородных газификаторах. Применение в системах кислородного питания газификаторов позволяет уменьшить габариты аппаратуры для хранения необходимого запаса кислорода в пять-шесть раз. Это обусловлено тем, что 1 *л* жидкого кислорода при переходе в газообразное состояние занимает объем 790 *л* при давлении 760 *мм рт. ст.* и 0°С, тогда как 1 *л* газообразного кислорода высокого давления (150 *атм* для применяемых в настоящее время баллонов) при приведении к нормальным условиям будет занимать объем 150 *л.* Кроме сказанного, применение кислородных газификаторов позволяет использовать на самолете кислородные питающие магистрали низкого давления до 8—10 *ат*, что способствует повышению герметичности кислородной системы.

Степень использования жидкого кислорода на борту самолета также далека от полной вследствие естественной утечки кислорода, так как невозможно создать идеальную теплозащиту емкости для хранения жидкого кислорода. В существующих газификаторах в результате естественного испарения теряется приблизительно 25% кислорода по весу в сутки. Помимо естественного испарения, при заправке газификаторов теряется около 50—60% жидкого  {84}  кислорода. Исходя из этого, системы кислородного питания на жидком кислороде по экономичности значительно уступают системам на газообразном кислороде, но последние имеют неблагоприятные весовые и габаритные характеристики. Поэтому используется и жидкий, и газообразный кислород, например, на транспортных самолетах.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-GyVaO1.png |
| **Рис. 3.7.** Принципиальная схема рычажного редуктора:  *1* — пружина задатчика давления; *2* — мембрана; *3* — пружина клапана подачи; *4* — клапан подачи |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZRztgG.png |
| **Рис. 3.8.** Принципиальная схема безрычажного редуктора:  *1* — пружина задатчика давления; *2* — мембрана; *3* — пружина клапана подачи; *4* — клапан подачи; *5* — толкатель |

**Кислородные редукторы.** Кислородные редукторы (КР) служат для понижения и поддержания необходимого давления в магистрали системы кислородного питания. Понижение давления кислорода в редукторе обеспечивается протеканием его через замкнутые полости с последовательно возрастающими проходными сечениями. По принципу поддержания заданного давления на входе регулятора подачи кислорода редукторы являются регуляторами давления прямого действия.

В системах кислородного питания нашли применение две схемы редукторов (рычажных и безрычажных), принцип построения которых показан на рис. 3.7 и 3.8.

Работа редукторов сводится к следующему. При отсутствии давления кислорода на входе редуктора (*p*вх = 0) клапан подачи *4* всегда находится в открытом положении, так как усилие, развиваемое регулирующей пружиной *1*, больше усилия пружины *3.* При наличии давления на входе редуктора клапан подачи *4* будет находиться в открытом положении до тех пор, пока усилие, заставляющее клапан находиться в этом положении, не будет скомпенсировано давлением кислорода в полости  {85}  редуктора. Давление кислорода действует на мембрану *2*, и толкателем *5* клапан подачи кислорода закрывается. При уменьшении давления в полости редуктора клапан подачи вновь открывается под действием усилия пружины *1* (рис. 3.7).

При непрерывном расходе кислорода из полости редуктора; клапан подачи занимает такое положение, при котором обеспечивается условие баланса между подачей и расходом кислорода при определенном давлении кислорода на выходе КР.

Задатчиком рабочего давления в полости редуктора является пружина *1*. При увеличении ее жесткости будет увеличиваться величина рабочего давления редуктора.

Безрычажные редукторы используются, как правило, для понижения давления кислорода в магистралях высокого давления, Рычажные редукторы обычно используются в магистралях низкого давления и в регуляторах подачи кислорода.

Работа редуктора характеризуется следующими параметрами:

— максимальным и минимальным давлением перед редуктором (*p*рмакс, *p*рмин);

— рабочим давлением на выходе из редуктора (*p*р);

— остаточной неравномерностью регулирования давления (*x*0).

Относительная величина остаточной неравномерности регулирования определяется как разность максимального и минимального рабочего давления на выходе из редуктора (зависящая от изменения давления на входе редуктора), отнесенная к максимальному его значению:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *x*0 = | *p*рмакс – *p*рмин  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-IPIxnz.png  *p*рмакс | · 100 [%], | | (3.14) |

Из выражений (3.13) и (3.14) следует, что для обеспечения нормальной работы регулятора подачи кислорода в кислородных системах высокого давления (150 *ат*) при использовании КР должно обеспечиваться неравенство *p*рмин ≥ (2—2,5)*р*р.п.

**Регуляторы непрерывной подачи кислорода.** Они используются в системах кислородного питания (СКП) коллективного и индивидуального пользования.

Регулятор непрерывной подачи кислорода, используемый в СКП коллективного пользования, представляет собой систему двух последовательно соединенных регуляторов — давления и расхода (рис. 3.9). Регулятор давления *1* служит для поддержания необходимой величины давления кислорода на входе регулятора расхода *2.* Регулятор расхода обеспечивает необходимый расход чистого кислорода в зависимости от высоты полета. Он работает в режиме закритического истечения, когда соблюдается следующее отношение давлений кислорода: *p*вых/*p*р ≤ 0,528. В этом случае  {86}  подача кислорода в маску будет определяться величиной давления *p*р и величиной открытия клапана подачи *4*, т. е.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-hJYw6H.png | (3.15) |

где μ — коэффициент истечения (обычно μ = 0,7—0,85);

*d* — диаметр отверстия клапана;

*h* — величина открытия клапана;

*g* — ускорение силы тяжести;

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-5agjTe.png |
| Рис. 3.9. Принципиальная схема регулятора непрерывной подачи кислорода:  *1* — регулятор давления: *2* — регулятор расхода; *3* — анероид; *4* — клапан подачи; *5* — предохранительный клапан |

*k* — коэффициент адиабаты, равный 1,41;

*R* — газовая постоянная, равная для кислорода 26,5 *м/град*;

*Т* — абсолютная температура.

После подстановки в формулу (3.15) значений постоянных коэффициентов (*g, R, k*) она приобретает вид

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *G* = μπ*dh* | 0,395  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WpsfBu.png  √*T* | *p*р. | | (3.16) |

Величина открытия клапана *h* меняется в зависимости от высоты полета («высоты» в кабине) в результате перемещения подвижного центра анероида *3*, реагирующего на изменение давления в кабине самолета.

Кислород из полости между регулятором давления и регулятором расхода не расходуется до тех пор, пока закрыт клапан подачи *4.* С определенной высоты полета («высоты» в кабине) под действием анероида *3* начинает приоткрываться клапан *4*, чем обеспечивается определенная подача кислорода в маску.

Поскольку в полости перед регулятором расхода *2* давление регулируется с помощью регулятора давления прямого действия *1* (§ 2.2), то регулируемая величина *р*вых будет иметь ошибку (при  {87}  изменении величины давления *р*вх на входе регулятора непрерывной подачи кислорода). Ощутимая остаточная неравномерность регулирования наблюдается, когда давление *р*вх становится менее двукратного значения рабочего давления *p*р.

Для обеспечения летных экипажей кислородом при аварийном покидании самолета (или при отказе основной бортовой системы кислородного питания) используются аварийные регуляторы непрерывной подачи кислорода индивидуального пользования. Принципиальная схема такого регулятора дана на рис. ЗЛО.

Кинематическая схема регулятора обеспечивает подачу кислорода к дыхательным путям (автоматически или вручную), как

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-PrwKwP.png |
| Рис. 3.10. Принципиальная схема регулятора непрерывной подачи кислорода индивидуального пользования:  *1* — баллончик с кислородом: *2* — капиллярный трубопровод; *3* — клапан подсоса воздуха; *4* — замок (запирающее устройство); *5* — силовая пружина; *6* — клапан подачи кислорода |

только произойдет катапультирование. В самом деле, при отжатии замка *4* вниз происходит мгновенная отработка силовой пружины *5* влево, в результате чего открывается клапан *6* непрерывной подачи кислорода. Понижение давления кислорода после выхода его из баллончиков *1* обеспечивается вследствие больших гидравлических потерь в капиллярном трубопроводе *2* (внутренний диаметр его *d*к = 0,35 *мм*).

Подача кислорода к дыхательным путям уменьшается по мере уменьшения давления кислорода в баллончиках. При большой легочной вентиляции и при недостатке кислорода на малых высотах открывается клапан *3* подсоса воздуха вследствие разрежения в корпусе регулятора подачи.

Зависимость между объемной подачей кислорода *W* [*л/мин*], приведенной к наземным условиям, и исходными параметрами регулятора непрерывной подачи имеет следующий вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-VHq_ee.png | (3.17) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-5JKg3f.png | {88} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-IjbASI.png |

где *W*0 — начальный объемный расход кислорода в момент времени *t* = 0;

*V*0 — объем кислородных баллончиков;

*р*0 — начальное давление кислорода в баллончиках;

*рH* — давление окружающей атмосферы. Выражение для начального расхода имеет вид

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-wpwAy5.png | (3.18) |

где μ — коэффициент истечения кислорода через капилляр (μ = 0,1—0,15);

*S*к — площадь поперечного сечения капилляра (*S*к = π*d*к2/4);

*Т* — температура кислорода в баллончиках.

По зависимости (3.17) можно рассчитать подачу кислорода в маску при автоматическом или ручном срабатывании регулятора. Расчеты по формулам (3.17) и (3.18) показывают, что подача кислорода при начальном давлении *р*0 = 150 *ат*, *V*0 = 0,875 *л*, *d*к = 0,35 *мм* и *рH* = *рH*0 = 1 *ат* после срабатывания регулятора (в момент времени *t* = 0) составит величину порядка 13—17 *л/мин*, а спустя 11—12 *мин* подача кислорода в маску равна примерно 3 *л/мин.*

**Регуляторы прерывной подачи кислорода.** Они делятся на регуляторы подачи без избыточного давления и на регуляторы подачи с избыточным давлением.

Кислородные регуляторы прерывной подачи без избыточного давления. Принципиальная схема такого регулятора дана на рис. 3.11. Регулятор включается в работу только при наличии перепада давления на мембране, который возникает во время вдоха. Под действием внешнего давления мембрана прогибается внутрь, вследствие чего открывается клапан подачи. Кислород из полости редуктора поступает через эжектор в подмембранную полость регулятора. При протекании кислорода в эжекторе создается разрежение, в результате чего происходит подсос воздуха через автомат подачи воздуха (АПВ) в корпус регулятора. Струя кислорода увлекает за собой воздух, смешивается с ним и поступает в кислородную маску.

В момент выдоха давление кислорода в подмембранной полости регулятора выравнивается с атмосферным, в результате клапан подачи закрывается. Таким образом, кислород поступает к дыхательным путям под давлением, почти равным давлению окружающей среды. По мере увеличения высоты полета АПВ постепенно уменьшает доступ воздуха и на высоте 9—10 *км* подача воздуха совсем прекращается.

Для создания в корпусе регулятора малого избыточного давления в надмембранной полости его устанавливается механизм *5* малого избыточного давления в виде анероида с пружиной. Анероид  {89}  вступает в работу с высоты 4 *км*, создавая некоторый прогиб мембраны в сторону открытия клапана подачи. Последний закрывается при давлении во внутренней полости регулятора, превышающем давление воздуха в надмембранной полости на величину жесткости пружины механизма избыточного давления. Таким образом, ограничителем избыточного давления является пружина анероида. Избыточное давление в данной схеме регулятора может возрастать до 40 *мм вод. ст.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-8LJvUe.png |
| **Рис. 3.11.** Принципиальная схема регулятора прерывной подачи кислорода без избыточного давления:  *1* — мембрана; *2* — эжектор: *3* — автомат подсоса воздуха: *4* — клапан подачи кислорода: *5* — механизм малого избыточного давления |

Так как давление кислорода в корпусе регулятора при нормальной работе его не превышает атмосферного давления окружающей среды (пренебрегая величиной малого избыточного давления), то начиная с высоты 12 *км* согласно графику, приведенному на рис. 3.3, парциальное давление кислорода в полости кислородной маски становится ниже установленной нормы. Поэтому регуляторы прерывной подачи кислорода без избыточного давления имеют ограничения по высоте до 12 *км.*

Согласно техническим требованиям качество работы регулятора прерывной подачи кислорода характеризуется величиной сопротивления дыханию (*р*к – *р*м). Для исследования влияния на величину сопротивления дыханию конструктивных параметров регулятора установим зависимость между сопротивлением вдоху и параметрами  {90}  регулятора. Составим уравнение сил, действующих на клапан подачи регулятора (см. 3.11).

Сила давления мембраны регулятора, приведенная к клапану и действующая в сторону открытия клапана, равна

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *N*1 = *H*c*S*м*i* · 9,8 [*н*], | (3.19) |

где *H*c = *р*к – *р*м — разрежение в корпусе прибора (сопротивление вдоху), *мм вод. ст.*;

*S*м — эффективная площадь мембраны, *м*2;

*i = l*р/*a* — передаточное число рычага (рис. 3.11).

Сила клапанной пружины, действующая в сторону закрытия клапана, равна

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *N*2 = *N*20 + *k*2*h* [*н*], | (3.20) |

где *N*20 — первоначальное усиление клапанной пружины (при закрытом клапане), *н*;

*k*2 — жесткость пружины, *н/м*;

*h* — ход клапана, *м.*

Сила давления кислорода на клапан

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *N*3 = | π*d*к2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BpJQ_R.png  4 | (*р*р – *р*м) ≈ | π*d*к2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-m2OfqK.png  4 | *р*р   [*н*], | | (3.21) |

где *d*к — диаметр седла клапана, *см*;

*р*р — давление кислорода на клапан, *н/м*2.

Уравнение равновесия сил, действующих на клапан будет иметь вид

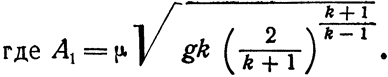
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | 9,8*H*c*S*м*i* – *N*20 – *k*2*h* + | π*d*к2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-6aTqf6.png  4 | *р*р = 0. | | (3.22) |

Решая полученное уравнение относительно величины сопротивления вдоху, получим

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | *H*c = | |  |  | | --- | --- | | *N*20 + *k*2*h* – *р*р | π*d*к2  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-eWH3Bp.png  4 |   https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Y_7JFy.png  9,8*S*м*i* | . | | (3.23) |

Выразим величину открытия клапана подачи через секундный расход кислорода и подставим ее в выражение (3.23). Секундный расход кислорода для закритического случая истечения запишем в следующем виде:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZYQW6f.png | (3.24) |



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-vBQ8pu.png | {91} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BajNCh.png |

Проходное сечение клапана *F*к можно выразить через поверхность цилиндра диаметром *d*к и высотой *h*, т. е.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | *F*к = π*d*к*h*. | (3.25) |
|  | |  | |
|  | |  | |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-3qAR_Y.png |
| **Рис.** 3.12. Экспериментальный график эффективной работы клапана подачи |

Высота подъема *h* клапана выбирается в зависимости от его диаметра. Для этого используем экспериментальный график, который приведен на рис. 3.12. Как видно из рисунка, при *h*/*d*к = 0,20÷0,25 работа клапана перепуска фактически прекращается. Если в выражение (3.25) подставить граничное отношение (*h*/*d*к)гр, получим

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *F*к = 0,2 π*d*к2. | (3.26) |

Подставляя выражение (3.26) в выражение (3.24), найдем формулу для определения диаметра клапана по величине секундного расхода

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-RGNVBe.png | (3.27) |

Используя зависимости (3.23) — (3.27), получим новое выражение для определения величины сопротивления вдоху

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-RhGSFy.png | (3.28) |

Анализируя выражение (3.28), приходим к выводу, что, уменьшая жесткость *k*2 клапанной пружины, увеличивая давление кислорода *р*р на клапан, эффективную площадь мембраны *S*м и передаточное отношение *i*, можно снижать сопротивление вдоху *Н*0. Однако такой способ снижения сопротивления вдоху приводит к увеличению габаритов регулятора подачи.

Наиболее эффективными техническими способами уменьшения величины сопротивления вдоху следует считать:

— создание избыточного давления в полости регулятора подачи;

— использование вторичной эжекции, создаваемой струей выходящей из диффузора смеси кислорода с воздухом;

— расположение диффузора эжектора против выходного штуцера кислородного прибора;

— расположение малогабаритного регулятора прерывной подачи вблизи кислородной маски или непосредственно на ней;  {92}

— применение в регуляторе прерывной подачи сдвоенного клапана подачи с пневмоусилителем.

Кислородные регуляторы прерывной подачи с избыточным давлением. Применение этих регуляторов в системах питания обеспечивает летный экипаж кислородом как в нормальных условиях, так и в аварийном режиме (при внезапной разгерметизации кабины на большой высоте). Повышение давления кислорода в полости кислородной маски может быть обеспечено двумя способами:

— повышением давления кислорода в полости кислородной маски при переходе на режим непрерывной подачи;

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-FYNl4z.png |
| Рис. 3.13. Принципиальная схема регулятора прерывной подачи с избыточным давлением при переходе на режим непрерывной подачи:  *1* — клапан подачи; *2* — механизм перевода на режим непрерывной подачи; *3* — регулятор избыточного давления |

— повышением давления в надмембранной полости регулятора относительно окружающей среды с сохранением режима прерывной подачи.

По первому способу регулятор до высоты 11—13 *км* работает в режиме прерывной подачи, а с высоты 12—13 *км* — в режиме непрерывной подачи кислорода. Перевод регулятора на непрерывную подачу осуществляется специальным механизмом *2* непрерывной подачи (рис. 3.13). Регулирование повышенного давления при непрерывной подаче кислорода производится сбросом из системы в атмосферу излишнего количества кислорода через клапан специального регулятора *3* избыточного давления, смонтированного в шланге кислородной маски.

Принципиальная схема регулятора, работающего по второму способу, показана на рис. 3.14. До высоты 4 *км* (верхняя) надмембранная полость сообщается с атмосферой, кислород подается в легкие под давлением, примерно равным атмосферному. С увеличением высоты срабатывает пускатель *1* и в надмембранную полость начинает поступать кислород в количестве 3—4 *л/мин.*  {93}  Повышенное давление в надмембранной полости регулируется механизмом *3* малого избыточного давления; при этом избыточное давление составляет величину не более 30—40 *мм вод. ст.*

На высоте 12 *км* вступает в работу регулятор *2* избыточного давления, который обеспечивает регулирование давления до 500—600 *мм вод. ст.* В зависимости от величины избыточного давления в надмембранной полости будет повышаться давление в подмембранной полости регулятора, а следовательно, и в легких человека.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-54N890.png |
| Рис. 3.14. Принципиальная схема регулятора прерывной подачи с избыточным давлением при сохранении режима прерывной подачи:  *1* — пускатель; *2* — регулятор избыточного давления; *3* — механизм малого избыточного давления; *4* — надмембранная полость регулятора подачи |

При наличии в легких избыточного давления 500—600 *мм вод. ст.* (на высоте 15—16 *км*) следует обязательно создавать внешнее давление на полость грудной клетки, используя компенсирующую одежду (компенсирующий жилет). Существенным недостатком регулятора подачи, работающего по схеме, показанной на рис. 3.14, является неэкономичный расход кислорода (до 3—4 *л/мин*) при работе его до высоты 12 *км.*

На рисунке 3.15 дана схема регулятора подачи с избыточным давлением без дополнительного расхода кислорода в атмосферу на высотах до 12 *км.* Из этой схемы исключена дополнительная подача кислорода в надмембранную полость регулятора подачи на высотах до 12 *км.* Малое избыточное давление (для компенсации негерметичности кислородной маски) создается в результате установки механизма малого избыточного давления непосредственно в полости регулятора. Кроме того, до высоты 2 *км* при малой легочной вентиляции не происходит расхода кислорода. В этом случае человек дышит атмосферным воздухом через дополнительный канал подсоса, предусмотренный в автомате подачи  {94}  воздуха. Механизм малого избыточного давления вступает в работу на высоте более 6 *км* и обеспечивает дополнительный расход кислорода непосредственно в полость регулятора подачи. Величина малого избыточного давления ограничивается жесткостью пружины клапана малого избыточного давления. На высотах более 12 *км* работа регулятора подачи аналогична работе регулятора, выполненного по схеме, показанной на рис. 3.14.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YOheA7.png |
| Рис. 3.15. Принципиальная схема регулятора прерывной подачи с избыточным давлением без дополнительного расхода кислорода в атмосферу:  *1* — клапан подачи: *2* — эжектор; *3* — автомат подсоса воздуха с дополнительным каналом подсоса; *4* — мембрана механизма малого избыточного давления; *5* — пускатель дополнительного расхода кислорода: *6* — клапан с пружиной механизма малого избыточного давления |

**Автоматы подсоса воздуха (АПВ).** Они обеспечивают необходимую концентрацию кислорода во вдыхаемом воздухе согласно характеристике потребного процентного содержания кислорода (рис. 3.1).

В кислородных системах применяются АПВ различных конструктивных схем, которые обеспечивают то или иное приближение фактической характеристики процентного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе к необходимой характеристике. В настоящее время в регуляторах подачи кислорода используются АПВ с двухступенчатым клапаном и дополнительным обводным каналом (рис. 3.16). Подсос воздуха из кабины происходит в результате разрежения, создаваемого в эжекторе *3*, через обратный клапан *4.*

Автомат подсоса воздуха с дополнительным обводным каналом обеспечивает до высоты 2 *км* (при малой легочной вентиляции) подачу в маску только воздуха кабины без расхода чистого кислорода. На высоте 2 *км* дополнительный анероид *5* перекрывает дополнительный канал подсоса воздуха, и с этого момента воздух  {95}  из атмосферы кабины поступает в регулятор подачи кислорода через основной канал АПВ, обеспечивая на высотах более 2 *км* требуемую концентрацию кислорода во вдыхаемом воздухе

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-IiCbYi.png |
| Рис. 3.16. Принципиальная схема автомата подсоса воздуха (АПВ):  *1* — основной анероид; *2* — двухступенчатый клапан подсоса: *3* — эжектор; *4* — обратный клапан: *5* — дополнительный анероид в обводном каналеhttps://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-2VVXBg.png |

вследствие работы основного анероида *1* с клапаном *2.* Обратный клапан *4* предотвращает утечку кислорода из регулятора подачи помимо маски.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3.17. Кривые изменения процентного содержания кислорода по высотам при работе автоматов подсоса воздуха:  *1* — желаемая характеристика процентного содержания кислорода; *2* — характеристика АПВ без дополнительного обводного канала; *3* — характеристика АПВ с обводным каналом |

На рисунке 3.17 приведены характеристики процентного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе в зависимости от высоты полета для различных АПВ, применяемых в регуляторах подачи кислорода. Из анализа приведенных характеристик следует, что характеристика *3* АПВ с дополнительным обводным каналом ближе всего соответствует желаемой характеристике *1.*

**ВЫСОТНОЕ СПЕЦСНАРЯЖЕНИЕ**

**§ 4.1. Общая характеристика систем индивидуальной защиты экипажей летательных аппаратов**

При разгерметизации кабины или при покидании летательного аппарата на больших высотах (> 12 *км*) экипаж может оказаться в условиях жесточайшего кислородного голодания, весьма низких давлений и температур.

Единственным способом защиты и спасения в этих условиях являются быстрая изоляция экипажа от окружающей среды, обеспечение дыхания кислородом под избыточным давлением и создание компенсирующего давления на тело. Обычно при этом исходят из того, чтобы абсолютное давление вдыхаемого кислорода было не ниже 145 *мм рт. ст.*, что соответствует высоте 12 *км*, а давление на тело человека соответствовало бы величине избыточного давления кислорода.

Защиту от переохлаждения при низких температурах окружающей среды можно обеспечить в течение необходимого времени путем тепловой изоляции тела человека.

При покидании летательного аппарата, помимо рассмотренных факторов, особенно на больших скоростях полета, на экипаж действуют значительные перегрузки и давление встречного потока воздуха.

Величины скоростного напора встречного потока воздуха в зависимости от скорости движения летательного аппарата (приборной скорости) приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость полета по прибору, *км/час* | 300 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| Скоростной напор, *кГ/м*2 | 435 | 1207 | 1740 | 2300 | 3090 | 3910 | 4760 | 5830 | 6940 | 8150 | 9450 | 10900 |

Таким образом, в особых случаях полета, связанных в основном с аварийными ситуациями, экипаж может оказаться в самых неблагоприятных условиях. Вследствие этого необходимо предусматривать для экипажа специальную защиту, чтобы сохранить ему жизнь. Для этих целей служат системы индивидуальной защиты в сочетании с системами кислородного питания экипажа.

Защитное индивидуальное снаряжение (высотное спецснаряжение) экипажей, летательных аппаратов предназначается для защиты человека:

— от кислородного голодания и низкого барометрического давления;

— от скоростного напора при катапультировании;

— от действия низких и высоких температур;

— от действия перегрузок;

— от действия теплового и ультрафиолетового облучения.

Кроме того, высотное спецснаряжение в случае необходимости должно обеспечивать спасение на море, защиту человека от переохлаждения в воде.

Для обеспечения первой медицинской помощи и существования человека в самых различных условиях (в тайге, пустыне, на море и пр.) применяются носимые аварийные запасы (НАЗ).

Для решения перечисленных задач на современных летательных аппаратах в качестве средств индивидуальной защиты экипажей используется высотное спецснаряжение следующих видов:

— кислородные маски и герметические шлемы;

— высотно-компенсирующие костюмы;

— противоперегрузочные костюмы;

— вентилирующие костюмы;

— морские спасательные костюмы;

— высотные скафандры.

Для обеспечения нормальных физиолого-гигиенических условий для экипажа при пользовании высотным спецснаряжением в течение всего полета и для защиты его в особых условиях полета средства индивидуальной защиты должны отвечать следующим основным техническим требованиям:

— при одновременном использовании различных образцов спецснаряжения они по своим размерам и габаритам должны строго соответствовать друг другу:

— ткани и материалы для специального снаряжения должны быть прочными, трудновоспламеняющимися, стойкими к воздействию переменных климатических условий окружающей среды;

— обладать высокими теплозащитными свойствами;

— быть газопроницаемыми и влагопроницаемыми;

— одежда должна быть легкой, мягкой, не ограничивать движений, легко сниматься и надеваться.

Применение специального снаряжения тех или иных видов или их комбинаций определяется летно-техническими характеристиками и режимом помета летательного аппарата,

**§ 4.2. Кислородные маски**

Кислородные маски (КМ) предназначаются для подачи воздуха, обогащенного кислородом, к дыхательным путям человека, а также для изолирования дыхательных путей от окружающей атмосферы.

Кислородные маски должны удовлетворять следующим основным требованиям:

— герметично прилегать к лицу и не сдвигаться даже при действии перегрузок и скоростного напора во время катапультирования;

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xwFWp9.png |
| **Рис** 4.1. Схема кислородной маски открытого типа |

—прикрывать нос и рот, не создавая затруднений для дыхания;

— удерживать избыточное давление кислорода;

— не мешать разговору по радиотелефону;

— не ухудшать обзора и не стеснять движений головы;

— обеспечивать быстрое, удобное и надежное надевание и закрепление маски, а также легкое и быстрое ее снятие;

— не вызывать болезненных ощущений от давления или раздражения кожи лица при длительном ношении маски;

— не иметь какого-либо запаха.

Клапаны маски должны работать безотказно, иметь малое сопротивление, быть герметичными, не обмерзать при низких температурах.

В системах кислородного питания находят применение маски следующих типов.

**Кислородная маска открытого типа.** Схема маски изображена на рис. 4.1. Применяется в системах кислородного питания, использующих непрерывную подачу кислорода, и рассчитана на пользование до высоты 8 *км.* На высотах полета более 8 *км* эта маска не обеспечивает необходимой величины парциального давления кислорода из-за подсоса в полость маски атмосферного воздуха. Примером маски открытого типа может служить маска типа КМ-15.

**Кислородная маска полузакрытого типа.** В настоящее время в системах непрерывной подачи кислорода используются маски с приемником кислорода и губчатым клапаном выдоха. Схема такой маски приведена на рис. 4.2. Применение маски полузакрытого типа дало возможность значительно увеличить во вдыхаемом воздухе процентное содержание кислорода и уменьшить его бесполезный расход. Примером маски полузакрытого типа может служить маска типа КМ-19 (рис. 4.3).

Маска КМ-19 применяется при пользовании кислородом от  {99}  бортовых кислородных приборов непрерывной подачи типа КП-32 и КП-56. Она состоит из следующих основных частей: корпуса *6*, губчатых клапанов *5*, тройника *4*, дополнительной емкости (приемника кислорода) *3*, шланга *9* и крепления, состоящего из наголовника, тесем и пряжек *8.* В носовую часть резинового корпуса *6* заформована пружина *7*, обеспечивающая более плотное прилегание маски к лицу.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-LG4l3K.png |
| Рис. 4.2. Схема кислородной маски полузакрытого типа с приемником кислорода:  *1* — полость маски; *2* — приемник кислорода; *3* — губчатый клапан выдоха |

На боковых поверхностях корпуса имеются два гнезда, в которых помещаются клапаны *5* из губчатой воздухопроницаемой резины, служащие для сообщения внутренней полости маски с окружающей атмосферой.

Корпус маски посредством пластмассового тройника *4* соединяется с резиновым приемником кислорода *3.* Внутри тройника имеется трубка, которая выполнена заодно с тройником. На один конец трубки (наружный) монтируется кислородподводящий шланг *9.* На другой конец трубки тройника надевается резиновая перфорированная трубка *2*, свободно оканчивающаяся у дна мешочка.

Резиновая трубка позволяет кислороду из прибора в первую очередь поступать в нижнюю часть приемника кислорода, а затем в маску. Во время выдоха, когда в маске имеется некоторое избыточное давление, кислород, поступающий из прибора, собирается в приемнике кислорода, куда из маски попадает часть выдыхаемого воздуха. Другая часть выдыхаемого воздуха выходит в атмосферу через губчатые клапаны.

Во время вдоха в легкие в первую очередь поступает смесь кислорода с выдыхаемым воздухом, накопившаяся в приемнике кислорода за время выдоха. После полного израсходования смеси из приемника кислорода в легкие начинает поступать смесь, образовавшаяся от смешивания кислорода, который подается прибором непрерывной подачи, с воздухом, подсасываемым через губчатые клапаны из атмосферы. Таким образом, приемник кислорода выполняет роль экономайзера.

Для выпуска скопившейся в экономайзере при дыхании влаги в нижней части его имеется специальное отверстие, закрывающееся пробкой 1.

Маска КМ-19 может использоваться лишь до высоты полета 10 *км.*

**Кислородная маска закрытого типа.** Она используется в кислородных системах прерывной подачи кислорода и обеспечивает подачу кислорода под давлением, не превышающим давления окружающей среды, применяется до высоты 12 *км.* Принципиальная схема такой маски показана на рис. 4.4. Примером кислородной  {100}  маски закрытого типа может служить маска типа КМ-16 (рис. 4.5).

Кислородная маска КМ-16 является снаряжением индивидуального пользования и подгоняется к лицу заранее. Маска состоит

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-1xNQvu.png |
| Рис. 4.3. Кислородная маска КМ-19:  *1* — пробка; *2* — перфорированная трубка; *3* — приемник кислорода; *4* — тройник; *5* — губчатый клапан; *6* — корпус маски; *7* — прижимное устройство; *8* — крепление маски; *9* — кислородподводящий шланг; *10* — ниппель |

из рыльца *1*, клапана вдоха *2*, клапана выдоха *7*, гайки *5*, направляющей втулки *8*, пружины *6*, ниппеля *3*, гофрированного шланга *4* с байонетным замком, с помощью которого маска соединяется  {101}  с кислородным прибором. Маска крепится на голове человека тесьмой *9.*

Рыльце *1* служит основанием для монтажа остальных деталей маски. К внутренней части рыльца приклеена замша для предохранения лица от обмораживания при минусовых температурах. Для присоединения маски к шлему на лентах имеются петли, а на шлеме специальные пуговицы. Клапан выдоха предохраняется от замерзания теплом выдыхаемого воздуха.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-DrfQa3.png |
| Рис. 4.4. Схема кислородной маски закрытого типа:  *1* — клапан вдоха; *2* — полость маски; *3* — клапан выдоха |

При вдохе вследствие разрежения, возникающего в маске, клапан вдоха *2* открывается и кислород из прибора поступает к дыхательным путям человека. В это время клапан выдоха *7* пружиной *6* и атмосферным давлением прижат к седлу. Во время выдоха под давлением выдыхаемой газовой смеси клапан вдоха закрывается, препятствуя проникновению выдыхаемой газовой смеси в кислородную систему, а клапан выдоха открывается, пропуская выдыхаемую газовую смесь в атмосферу. Пружина *6* подобрана с таким расчетом, чтобы поддерживать в маске избыточное давление, равное примерно 30—40 *мм вод. ст.* Зазубник *10* служит для удобства надевания маски.

**Кислородная маска закрытого типа с компенсированным клапаном выдоха.** Для подачи кислорода к дыхательным путям под избыточным давлением (до 75 *мм рт. ст.*) по сравнению с давлением окружающей среды используется маска с компенсированным клапаном выдоха и компенсатором натяга. Схема такой маски приведена на рис. 4.6. Компенсированный клапан выдоха, схема которого приведена на рис. 4.7, является как бы клапаном с постоянной жесткостью клапанной пружины при всех возможных значениях избыточного давления в маске. Чем выше будет давление в полости маски, тем с большим усилием компенсированный клапан выдоха будет прижиматься к седлу. Клапан будет открываться только при наличии определенного перепада давления между полостью маски и полостью под мембраной клапана выдоха. Компенсатор натяга обеспечивает прижатие маски к лицу при избыточном давлении в КМ. Рассмотренный компенсированный клапан выдоха используется в кислородной маске КМ-32.

Маска КМ-32 может применяться до высоты 18 *км.* На высотах до 6 *км* кислородная маска КМ-32 работает без избыточного давления (рис. 4.6).

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-gYOclW.png |
| **Рис. 4.5.** Кислородная маска КМ-16:  *1* — рыльце; *2* — клапан вдоха; *3* — ниппель; *4* — гофрированный шланг; *5* — гайка; *6* — пружина клапана выдоха; *7* — клапан выдоха; *8* — направляющая втулка; *9* — крепление маски (тесьма); *10* — зазубник |

В момент вдоха в маске создается разрежение, клапан вдоха открывается и пропускает кислород из полости низкого давления кислородного прибора в маску. Клапан выдоха в это время закрыт вследствие разрежения в маске (лепестковый клапан прижат к седлу). При выдохе давление в маске возрастает, выдыхаемый воздух давит на клапан выдоха, открывает его и выходит наружу. Клапан вдоха в это время прижат к седлу и не пропускает выдыхаемую смесь в гофрированный шланг подачи кислорода.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YFHflC.png |
| Рис. 4.6. Схема кислородной маски закрытого типа с компенсированным клапаном выдоха:  *1* — клапан вдоха; *2* — полость маски; *3* — компенсатор натяга; *4* — мембрана компенсированного клапана выдоха; *5* — подмембранная полость клапана выдоха |

При «высоте» в кабине порядка 5—8 *км* для устранения возможного подсоса воздуха в полость маски при вдохе газовая

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-baPXNS.png |
| Рис. 4.7. Конструктивная схема компенсированного клапана выдоха:  *1* — клапан выдоха; *2* — мембрана; *3* — подмембранная полость: *4* — пружина; *5* — седло |

смесь из кислородного прибора подается под малым избыточным давлением около 40 *мм вод. ст.*

При разгерметизации кабины на высотах более 11—13 *км* и включении непрерывной подачи кислорода он поступает в маску под клапан выдоха и в компенсатор натяга под избыточным давлением более 40 *мм вод. ст.*; величина этого давления изменяется в зависимости от высоты полета.

При наличии в маске избыточного давления герметичность маски обеспечивается компенсатором натяга, который раздувается и плотнее прижимает маску к лицу.

В результате повышения давления кислорода под мембраной клапана выдоха мембрана прижимается к седлу клапана и препятствует выходу кислорода из-под маски, поддерживая тем самым необходимое давление в ней.  {104}

Во время выдоха, когда избыточное давление в маске возрастает на величину, превышающую силу давления мембраны на седловину, клапан выдоха открывается и выдыхаемый воздух выходит из маски наружу.

По конструкции кислородная маска КМ-32 (рис. 4.8) состоит из резинового корпуса *7* с замшевым обтюратором, клапана вдоха *5*, клапана выдоха *4*, гофрированного шланга *3*, компенсатора *15* натяга маски, замка *19* с клапаном, креплений — верхнего *9*, нижнего и боковых *16*, микрофона ДЭМШ-1А со шнуром *2.*

На наружной поверхности корпуса маски смонтирована обрезиненная металлическая скоба *8*, которая предохраняет маску от деформации при наличии в ней избыточного давления, обеспечивает подгонку маски к лицу и является основанием для монтажа боковых и верхнего креплений маски.

В передней части корпуса маски имеется отверстие для монтажа клапана вдоха *5*. Последний пропускает газовую смесь или кислород из гофрированного шланга в маску при вдохе и препятствует проникновению выдыхаемой смеси в гофрированный шланг. Резиновый клапан вдоха вставлен в пластмассовую седловину.

Гофрированный шланг *3* соединяет маску со шлангом кислородного прибора через регулятор избыточного давления маски и служит для подвода кислорода в маску. Шланг имеет тканевое покрытие для увеличения прочности и оканчивается байонетным замком *23.* В средней части шланга имеется промежуточное крепление *20*, предназначенное для обеспечения надежного удержания маски на лице при катапультировании.

Компенсатор натяга *15* состоит из резиновой камеры, помещенной в покрышку из капроновой ткани, кнопок для пристегивания к шлемофону, трубки со стыковочным замком для присоединения к маске.

Замок с клапаном служит для соединения маски с компенсатором натяга и для предотвращения падения избыточного давления в маске при отсоединенном компенсаторе.

Для обеспечения герметичности прилегания маски и удержания ее на лице летчика при катапультировании маска крепится к шлемофону верхним, нижним и боковыми креплениями.

Совместно с маской КМ-32 для регулирования избыточного давления в ней по высотам при пользовании парашютным кислородным прибором применяется регулятор избыточного давления типа РД-24. Чувствительным элементом регулятора является анероид, реагирующий на изменение высоты полета. При нормальном режиме работы кислородного прибора (типа КП-24М) регулятор маски РД-24 не работает, так как он отрегулирован на избыточное давление, превышающее избыточное давление прибора КП-24М на 100—200 *мм вод. ст.* Регулирование давления в маске регулятором РД-24 при непрерывной подаче кислорода производится путем сброса его излишков в атмосферу кабины.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-hakvIp.png |
| Рис. 4.8. Кислородная маска КМ-32:  *1*, *19* — замки; *2* — микрофонный шнур; *3* — шланг; *4* — клапан выдоха: *5* — клапан вдоха; *6* — гнездо для размещения микрофона; *7* — корпус маски; *8* — скоба; *9* — верхнее крепление маски; *10* — пряжка-крючок; *11* — телефонная заглушка: *12* — пластина; *13, 18, 20* — пряжки; *14* — кнопка; *15* — компенсатор натяга; *16* — тесьма; *17* — крючок; *21, 22* — промежуточные крепления шланга; *23* — байонетный замок |

Вес кислородной маски КМ-32 с компенсатором натяга — 0,55 *кГ.*

**Особенности эксплуатации кислородных масок.** Кислородные маски являются снаряжением индивидуального пользования и подгоняются заранее к лицу и шлемофону самостоятельно каждым членом экипажа.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-bmABoZ.png |
| **Рис. 4.9.** Защитный шлем ЗШ-3:  *1* — каска: *2* — направляющая: *3* — винт; *4* — ушные клапаны: *5* — замок: *6* — светофильтр |

Маски изготовляются пяти размеров: первый — меньший, пятый — самый большой. Маски примериваются и подгоняются на лице. Верхняя часть обтюратора маски должна фиксироваться не на переносице, как это было в прежних конструкциях масок, а несколько выше — на седловине носа. Нижняя часть обтюратора размещается на подбородочной складке лица, не прижимая нижней губы. Индивидуальная подгонка по конфигурации лица производится поджатием или отжатием обрезиненной скобы. В подогнанном состоянии при пристегнутых верхнем и нижнем креплениях обтюратор маски должен плотно прилегать к лицу, не вызывая болевых ощущений.

Кислородные маски хранятся в закрытых сухих помещениях с температурой воздуха 5—20°С в индивидуальных чехлах.

При выполнении регламентных работ по налету самолета и по календарным срокам у кислородных масок проверяются внешнее состояние, герметичность клапана вдоха, штуцера с обратным клапаном, клапана выдоха при разрежении и двустороннем избыточном давлении; сопротивление маски вдоху; сопротивление клапана выдоха при отсутствии избыточного давления и при двустороннем избыточном давлении; герметичность компенсатора натяга.

Замша маски промывается зубной щеткой или тампоном, смоченным водой комнатной температуры с мылом. Затем маска промывается чистой водой, сушится и укладывается в чехол.

Кислородная маска КМ-32 может применяться в комплекте с защитным шлемом и с шлемофонами типа ШЛ-61 или ШЗ-61. Радиосвязь при эксплуатации маски КМ-32 осуществляется с помощью микрофона ДЭМШ-1 (динамический электромагнитный микрофон шумостойкий), вмонтированного в корпус маски, или посредством ларингофонов.

Защитный шлем ЗШ-3 (рис. 4.9) предназначен для защиты головы и лица летчика от повреждений при ударах о внутренние  {107}  части кабины самолета в процессе полета и при посадке, а также от солнечной радиации и ослепляющего действия солнечных и прожекторных лучей.

**§ 4.3. Герметические шлемы**

Герметические шлемы предназначаются для полетов на высотах, превышающих 18 *км*, и для спасения человека при покидании летательного аппарата. Герметические шлемы (ГШ) обеспечивают полную изоляцию головы человека от окружающих условий, они выполняют все функции кислородных масок и, кроме того, создают идеальную пневматическую компенсацию головы при создании избыточного давления в легких, защищают голову человека от случайных ударов и от действия скоростных напоров при покидании летательного аппарата.

К герметическим шлемам предъявляются следующие требования:

— абсолютное давление (избыточное плюс атмосферное) под шлемом на высоте 12 *км* и выше должно быть не менее допустимого;

— не должны существенно уменьшать обзор, запотевать и ограничивать движения головы;

— должны иметь подвижный светофильтр для пользования им в полете в направлении против Солнца;

— должны быть герметичными при всех значениях избыточного давления;

— остекление должно обладать высокими оптическими свойствами, смотровой щиток должен открываться и закрываться одной рукой;

— свободный объем гермошлема не должен быть слишком велик, так как должна обеспечиваться нормальная работа легочного автомата кислородного прибора (при большом свободном объеме разрежения, создаваемого при вдохе, может не хватить, чтобы привести в действие мембрану легочного автомата кислородного прибора).

**Герметический шлем ГШ-4.** Гермошлем обычно состоит из следующих основных частей: каски, лицевой рамки с подшлемниками, смотрового щитка, облегченного шлемофона и системы подтяга. Устройство гермошлема ГШ-4 показано на рис. 4.10.

Каска закрепляется на рамке и имеет подвеску для регулирования каски по высоте и амортизации при ударах. На рамке закреплен резиновый подшлемник. Сверху он прикрыт матерчатым подшлемником, прикрепленным к той же рамке,

Резиновый подшлемник изготавливается нескольких размеров. В шейной части подшлемника имеется герметизирующий клапан — обтюратор.

Матерчатый подшлемник изготовлен из прочной ткани, имеет разрез с застежкой «молния» и шнуровкой для подгонки по

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-5b7mOu.png |
| **Рис. 4.10.** Гермошлем ГШ-4:  *1* — замок смотрового щитка; *2* — кислородный шланг: *3* — клапан вдоха; *4* — смотровой щиток; *5* — лицевая рамка с подшлемником; *6* — отверстия выхода кислорода: *7* — каска; *8* — провода связи; *9* — резиновый подшлемник |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-8DwrFk.png | {109} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-0eMdWM.png |

голове. Снизу подшлемник заканчивается пелеринкой, которая заправляется под компенсирующий костюм. Это препятствует ее выползанию при создании в шлеме избыточного давления.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-rZkfka.png |
| **Рис. 4.11.** Гермошлем с откидным смотровым щитком:  *1* — шланг магистрали вдоха; *2* — механизм управления светофильтром; *3* — шейная часты *4* — микрофон; *5(7)* — смотровой щиток; *6* — светофильтр; *8* — каска: *9* — замок смотрового щитка |

Смотровой щиток крепится к рамке и герметизируется резиновым клапаном. Стекло смотрового щитка двухслойное. Между слоями помещены проволочки электрообогрева (диаметром 0,03 *мм*) для поддержания необходимой температуры на внутренней поверхности стекла (30—35°С), чтобы предохранить его от запотевания и обмерзания. Температура стекла регулируется вручную реостатом или автоматически с помощью автомата обогрева стекла АОС-5. Датчиком автоматического регулятора температуры служит миниатюрный термистор, вклеенный в стекло. В нижней части смотрового щитка смонтированы компенсированный клапан выдоха и клапан вдоха. К корпусу клапана вдоха присоединен гофрированный шланг, соединяющий шлем с кислородным прибором.

Существуют гермошлемы и других типов (с герметичным шейным кольцом, со смотровыми щитками откидного несъемного типа, а также с встроенными масками). Считают, что встроенная маска должна уменьшить содержание углекислого газа во вдыхаемом воздухе, а также уменьшить влажность воздуха в зоне стекла. Однако встроенная кислородная маска создает неудобства, так как стесняет движения головы и раздражает кожу. Но она обеспечивает меньший расход кислорода и при нарушении герметичности шлема с кислородной маской можно продолжать полет.

**Герметический шлем ГШ-6М с откидным смотровым щитком** (рис. 4.11) имеет ряд преимуществ по сравнению со шлемом ГШ-4. В нем отсутствует резиновый подшлемник, а применен специальный шейный герметизирующий клапан. Смотровой щиток не требует специальной подвески, он может открываться и закрываться одной рукой. Светофильтр размещен внутри каски, вследствие чего значительно снижается вероятность его повреждения в эксплуатации.  {110}

Для создания лучших гигиенических условий для головы летчика (удаления водяных паров и вымывания углекислого газа из подшлемного пространства) применено вентилирующее устройство шлема (ВУШ), которое подает в ГШ газовую смесь, процентное содержание кислорода в которой зависит от высоты полета. Эта газовая смесь вырабатывается в регуляторе подачи кислорода (РПК).

В шлеме на вращающемся шейном кольце герметизирующий клапан ставится между кольцом и шеей. При такой конструкции шлем можно легко снимать и вновь надевать, что очень удобно при дежурстве летчика в готовности, не предусматривающей немедленного вылета.

При избыточном давлении на шлем действует сравнительно большая направленная вверх сила, которая стремится сорвать шлем с головы (при избыточном давлении 0,2 *ат* эта сила равна приблизительно 70 *кГ*). Для удержания шлема на голове применяется система подтяга. Она состоит из стального троса, который перекинут через ролики-шарниры, крепящиеся к каске, и капроновой тесемки, пришитой к костюму. Система подтяга регулируется по длине натяжением тесьмы.

**Особенности эксплуатации герметических шлемов.** При эксплуатации гермошлемов необходимо следить за внешним состоянием основных его элементов: каски, светофильтра, клапанов, крепежных замков, резинового подшлемника, смотрового щитка, шлангов.

Проверяется также исправность электрической цепи обогрева стекла (сопротивление цепи обогрева стекла должно быть в пределах 20,5±2 *ом*), механизмов смотрового щитка, светофильтра, герметизирующего шейного подшипника, застежек «молния».

**§ 4.4. Высотно-компенсирующие костюмы**

Высотно-компенсирующие костюмы (ВКК) служат для создания на тело человека противодавления, компенсирующего избыточное давление в легких, ВКК используются только в случае создания в легких человека избыточного давления, т. е. при полетах на высотах более 12 *км*, и обеспечивают безопасное пребывание на этих высотах при аварийной ситуации (разгерметизаций кабины, катапультировании).

Высотно-компенсирующие костюмы должны отвечать следующим основным требованиям:

— обеспечивать создание необходимой величины противодавления, соответствующего избыточному давлению в легких в данный момент времени;

— создавать равномерное противодавление на всю поверхность тела человека;

— не стеснять движений летчика;

— быть гигиеничными, т. е. воздухо- и влагопроницаемымй;  {111}

— не сильно увеличивать габариты летчика;

— легко и быстро надеваться и сниматься.

Высотно-компенсирующая одежда различается по способу создания противодавления на тело человека и по величине давления в камерах натяжного устройства.

В системах кислородного питания получили распространение следующие способы создания противодавления (рекомпрессии) на тело человека:

1. Механическое обжатие тела летчика с помощью пневматических камер, давление в которых равно избыточному давлению в легких (механическое обжатие камерами низкого давления).

2. Механическое обжатие тела летчика тканью костюма с помощью камер натяжного устройства высокого давления.

3. Комбинированное механическое обжатие, когда компенсация туловища происходит с помощью камер, давление в которых равно избыточному давлению в легких и изменяется в такт дыхания, а компенсация конечностей производится обжатием тканью костюма.

4. Пневматическое обжатие тела избыточным давлением.

**Механическое обжатие тела с помощью камер низкого давления** осуществляется резиновой камерой, давление в которой равно избыточному давлению в легких. Для обеспечения полной компенсации тела необходимо применять герметические камеры натяжного устройства, охватывающие не менее половины компенсируемого участка тела человека. Такое условие является нежелательным с гигиенической точки зрения, а также из-за значительных габаритов такой компенсирующей одежды. Данный способ обжатия тела человека может использоваться для компенсации области живота, кистей рук, ступней ног (компенсирующий жилет, перчатки, носки).

**Механическое обжатие тела с помощью камер натяжного устройства высокого давления.** Принцип компенсации тела человека с помощью таких камер поясняется рис. 4.12. При наличии давления в камере натяжного устройства пневмокамера увеличивается в объеме и натягивает основную оболочку костюма вследствие сближения точек *а* и *б*, в результате чего создается обжатие соответствующего участка тела человека.

Давление на тело определяется по следующей формуле:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | *p* = *p*к | *R*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-mOFvdy.png  *R*1 | , | | (4.1) |

где *р* — необходимое противодавление на компенсируемый участок тела;

*p*к — давление кислорода в пневмокамере натяжного устройства;

*R* — радиус кривизны пневмокамеры натяжного устройства;

*R*1 — радиус кривизны компенсируемого участка тела человека.  {112}

Очевидно, что при давлении в пневмокамере натяжного устройства *p*к, равном избыточному давлению в маске Ар, условие полной компенсации (*p* = Δ*p*) может быть выполнено, если *R = R*1, т. е. если размеры камеры натяжного устройства будут соизмеримы с размерами компенсируемого участка тела человека. Это условие не отвечает требованиям, предъявляемым к ВКК.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-VU3pnQ.png |
| Рис. 4.12. Элемент схемы натяжного устройства высотно-компенсирующего костюма |

Высотно-компенсирующая одежда может быть приемлема для эксплуатации, если рабочий радиус камер натяжного устройства будет в несколько раз меньше радиуса кривизны обтягиваемого участка тела человека.

Для получения малогабаритной компенсирующей одежды необходимо повышать давление в пневмокамерах натяжного устройства для того, чтобы сохранить условие

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | *p*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-aGPExw.png  *p*к | = | *R*  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YSGezX.png  *R*1 | . | | (4.2) |

В реальных высотно-компенсирующих костюмах это отношение выдерживается в пределах 0,33—0,1, т. е. *р*к = (3—10)*р*. В этом случае компенсирующая одежда с высоким давлением в пневмокамере натяжного устройства в рабочем состоянии незначительно увеличивает габариты летчика. ВКК дают возможность обеспечить компенсацию тела человека приблизительно на 90%. Трудно осуществить компенсацию межлопаточной и подмышечной областей тела.

Камеры натяжного устройства высокого давления автоматически заполняются кислородом за время 1,5—2 *сек* при разгерметизации  {113}  кабины На высотах более 12 *км*, чем обеспечивают быструю и надежную рекомпрессию тела человека. Находиться в подобном ВКК (например, в костюме ВКК-4) в режиме компенсации избыточного давления в легких можно в течение не более 10—15 *мин* из-за сильного сжатия грудной клетки.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-42f9li.png |
| Рис. 4.13. Принципиальная схема комбинированной компенсирующей одежды:  *1* — кислородная дыхательно-компенсирующая камера: *2* — натяжное устройство; *3* — шланг для подачи кислорода в дыхательно-компенсирующую камеру от регулятора прерывной подачи (РПП); *4* — шланг для подачи кислорода в натяжное устройство от регулятора соотношения давления |

**Комбинированный механический способ создания противодавления на тело человека** является перспективным, поскольку обладает рядом положительных качеств. Компенсация туловища при этом обеспечивается пневмокамерами с давлением в них, равным избыточному давлению в легких, а конечности летчика компенсируются путем механического обжатия их тканью костюма в результате создания высокого давления в камерах натяжного устройства, в несколько раз превышающего избыточное давление в кислородной маске и легких. Схема такой компенсирующей одежды дана на рис. 4.13.

Кислород через регулятор прерывной подачи (РПП) подается в маску или гермошлем, а также в кислородно-дыхательную камеру, облегающую туловище летчика. Кислород в камеры высокого давления, компенсирующие конечности, подается через регулятор соотношения давлений (РСД), обеспечивающий необходимое  {114}  условие компенсации при дыхании под избыточным давлением.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Q0yeFF.png |
| **Рис. 4.14.** Высотно-компенсирующий костюм ВКК:  *1* — тесемки, вшитые в комбинезон и чехол НУ; *2* — резиновые камеры (дутики) НУ; *3* — ножная камера ППУ; *4* — брюшной компенсатор: *5* — соединительный штуцер камер ППУ: *6* — наружный замок «молния»: *7* — брюшная камера ППУ; *8* — металлические кольца крепления карабинов натяжного тросового устройства гермошлема: *9* — замок «молния» центрального распаха: *10* — комбинезон; *11* — шнуровка: *12* — плечевой замок «молния»: *13* — шланг системы ППУ; *14* — шланг системы натяжного устройства: *15* — замок «молния» |

Компенсирующая одежда, выполненная по комбинированной схеме, может обеспечивать компенсацию избыточного давления в легких теоретически в течение неограниченного времени, так как кислородно-дыхательная камера производит обжатие тела в зависимости от частоты и глубины дыхания человека. Однако по гигиеническим качествам она пока уступает ВКК, выполненным по схеме механического обжатия тканью костюма, так как большая часть поверхности тела человека оказывается покрытой газонепроницаемой тканью.

**Пневматическое обжатие тела избыточным давлением.** Рекомпрессия тела человека путем механического обжатия не позволяет создать идеальный компенсации для всех частей тела, поскольку радиус кривизны различных частей тела неодинаковый. Поэтому условие компенсации (р = рм) не может быть выполнено для всех участков тела. Это привело бы к значительному усложнению ВКК.

Идеальную компенсацию тела летчика можно осуществить пневматически, создавая противодавление кислорода на тело, равное избыточному давлению в легких. Такая рекомпрессия обеспечивается гермошлемами и скафандрами.

Компенсирующая одежда, выполненная по описанной схеме, может обеспечивать компенсацию избыточного давления в легких практически в течение неограниченного времени.

**Устройство ВКК.** Высотно-компенсирующий костюм (рис. 4.14) изготавливается из прочной хлопчатобумажной или капроновой ткани в виде хорошо облегающего тело комбинезона. Натяжное устройство (НУ) расположено вдоль всего костюма. На костюме, а также вдоль рукавов и штанин имеется шнуровка для  {115}  индивидуальной подгонки. Для надевания и снимания зашнурованного костюма на штанинах и рукавах имеются разрезы с застежками «молния». Костюмы изготавливаются нескольких размеров (обычно 12), соответствующих по гражданской классификации ростам от 156 до 185 *см* и размерам от 42 до 58.

Комбинезон имеет передний распах, закрывающийся застежкой «молния». Натяжное устройство состоит из камеры, чехла и тесемок.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-j7Jhha.png |
| **Рис. 4.15.** Зависимость противодавления на тело человека от давления в камерах натяжного устройства |

Перегрузочное устройство вмонтировано в комбинезон ВКК и составляет с ним одно целое (рис. 4.14). Вес высотно-компенсирующего костюма около 3 *кГ.* В настоящее время применяется компенсирующий костюм ВКК-4 (ВКК-6М).

В комплект компенсирующей одежды входят также компенсирующие перчатки и носки.

**Компенсирующие перчатки** представляют собой обыкновенные кожаные перчатки с двойной тыльной частью, между стенками которой вмонтирована резиновая камера, заполняемая воздухом через резиновую трубочку. Резиновая камера при наполнении расширяется и натягивает кожаную перчатку, которая обжимает руку.

**Компенсирующие носки** изготавливаются из хлопчатобумажной ткани. На них для плотной подгонки по ноге имеется шнуровка. Плотно подогнанный носок препятствует возникновению эмфиземы ног.

**Подгонка и особенности эксплуатации ВКК.** Высотно-компенсирующий костюм является личным снаряжением летчика. Подбор и подгонку костюма производят специалисты группы по высотному оборудованию и снаряжению. Размер (ростовка) ВКК определяется основными антропометрическими данными летчика.

Для того чтобы уменьшить опасность недокомпенсации избыточного давления в легких, большое значение имеет тщательная индивидуальная подгонка костюма. Такая подгонка обеспечит наиболее полное приближение фактической компенсации к расчетной (рис. 4.15). Из рисунка видно, что при неправильной подгонке ВКК может быть существенное отклонение фактической компенсации (кривые *3а* и *3б*) от расчетной (прямая 1). Правильная  {116}  подгонка костюма соответствует кривым *2а* и *2б.* Ширина петли указанных кривых обусловлена трением между костюмом и бельем при возрастании и уменьшении давления в натяжном устройстве ВКК. Таким образом, условие компенсации избыточного давления в легких костюмом определяется не только давлением в камерах натяжного устройства, но также подгонкой костюма и величиной трения между нательным бельем и ВКК.

ВКК необходимо хранить в сухом проветриваемом помещении в развешанном виде. Температура в помещении должна быть в пределах 15—30°С, относительная влажность от 40 до 70%. Сушку костюма разрешается производить в сушильном шкафу при температуре воздуха не более 50°С.

К полетам с применением ВКК допускается летный состав, хорошо изучивший его устройство, принцип работы, правила эксплуатации и успешно прошедший тренировку дыхания под избыточным давлением.

ВКК надевается непосредственно перед полетом. Проверяется герметичность системы и работа натяжного устройства. Для этого создается в системе избыточное давление до 1000 *мм вод. ст.* В этом случае должно ощущаться плотное обжатие тела тканью костюма. В противном случае слабину в костюме необходимо устранить шнуровкой. При вдохе и выдохе показания манометра должны отличаться на величину 100—200 *мм вод. ст.*

Между вылетами гермошлем можно снимать. Находясь в самолете в ожидании вылета, летчик должен быть в костюме и гермошлеме, смотровой щиток гермошлема при этом снят (или открыт). На дежурстве, когда экипаж находится в помещении дежурных подразделений, гермошлемы должны быть сняты, а передний замок застежки «молния» костюма расстегнут.

**§ 4.5. Противоперегрузочные костюмы**

Противоперегрузочные костюмы (ППК) служат для повышения устойчивости организма человека к положительным продольным перегрузкам, что дает возможность более полно использовать маневренные качества самолета. Существующие ППК обеспечивают снижение вредного действия перегрузок на 2—3 единицы.

К противоперегрузочным костюмам предъявляются следующие основные требования:

— ППК не должны стеснять дыхание, вызывать болевые ощущения и ограничивать движения летчика при отсутствии перегрузок;

— давление на тело должно изменяться в соответствии с величиной действующей перегрузки;

— ППК не должны сильно увеличивать габариты летчика;  {117}

— ППК должны быть гигиеничными и удобными в эксплуатации.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Ke_aGp.png |
| Рис. 4.16. Схема противоперегрузочного костюма с секционными камерами:  *1* — тканевый чехол: *2* — резиновая камера; *3* — каркасированная трубка; *4* — крепление; *5* — штуцер подачи воздуха ППК с секционными камерами |

Физиологическое действие противоперегрузочного костюма основано на том, что давление в его камерах фиксирует положение внутренних органов и препятствует их смещению и растяжению, противодействуя также инерционному смещению крови в сосуды брюшной полости и нижних конечностей. Это приводит к улучшению кровоснабжения головного мозга, в результате чего работоспособность летчика и устойчивость к перегрузкам сохраняется на более высоком уровне, чем без костюма.

Противоперегрузочное устройство включает в себя противоперегрузочный костюм, автомат давления и фильтр (рис. 8.1). При возникновении перегрузки автоматом давления включается подача воздуха в камеры костюма, в камерах создается избыточное давление, они надуваются и обжимают тело. При прекращении перегрузки выключается подача воздуха, происходит сброс давления в камерах.

По способу передачи давления на тело пневматически действующие противоперегрузочные костюмы можно подразделить на ППК с секционными камерами и ППК с натяжным устройством, (рис. 4.16) состоит из тканевой оболочки (чехла) и вмонтированных в нее секционных резиновых камер. При наполнении воздухом резиновых камер они расширяются и оказывают давление на тело.

Оболочка костюма представляет собой две штанины, соединенные широким поясом. Для быстрого надевания и снимания костюма служат застежки «молния», а для подгонки костюма по ширине — шнуровка.

Костюм надевается на брюки, а поясная часть костюма заходит под тужурку. Зимнее обмундирование надевают на костюм. Вес ППК с секционными камерами 1,5—2 *кГ.*

**ППК с натяжным устройством** вмонтирован в высотно-компенсирующий костюм и составляет с ним одно целое (рис. 4.17).  {118}  Такой ППК состоит из ножных камер (для обжатия голени и бедер), вделанных непосредственно в натяжное устройство ВКК, и брюшной камеры.

Принцип работы камер натяжного устройства рассмотрен в § 4.3.

Брюшная камера находится в тканевом чехле, который пристегивается к оболочке ВКК кнопками.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-zGLxZQ.png |
| Рис. 4.17. Схема противоперегрузочного костюма с натяжным устройством, вмонтированным в высотно-комненсирующий костюм:  *1* — ножные камеры; *2* — брюшная камера |

Зависимость давления воздуха в камерах ППК рассмотренных типов от перегрузки показана на рис. 4.18. Данную зависимость реализует автомат давления (рис. 8.1), который регулирует величину давления воздуха в камерах ППК в зависимости от действующей перегрузки. При перегрузке меньше двукратной давление в костюме не создается.

Принцип работы автомата давления основан на перемещении груза, подвешенного на пружине, под действием инерциальных сил. Груз связан с золотником, управляющим расходом воздуха в камеры ППК.

Автомат давления устанавливается на самолете в вертикальном положении, так как должны измеряться продольные перегрузки, действующие на летчика.

Воздушный фильтр предназначен для очистки поступающего в костюм воздуха от примесей, вредно влияющих на работу автомата давления или разрушающих материал камер костюма, твердых частиц грунта, засасываемых двигателем при взлете, а также частичек масла или продуктов его разложения. Фильтрующая часть выполнена из гофрированной бумаги.

**Особенности эксплуатации ППК.** Для обеспечения эффективной работы противоперегрузочных костюмов в процессе эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы автомат давления находился в вертикальном положении. Головка автомата должна устанавливаться в соответствующие крайние положения в зависимости от типа применяемого экипажем ППК. При применении костюма с секционными камерами (ППК-1) автомат давления устанавливается в положение «Минимум» (на низкое давление). При применении экипажем высотно-компенсирующего костюма типа  {119}  ВКК-4 (ВКК-6М) автомат давления устанавливается в положение «Максимум» (на высокое давление).

Проверка работы противоперегрузочного устройства костюма совместно с автоматом давления АД-5А производится нажатием кнопки автомата при работающем двигателе.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-qpvX9F.png |
| **Рис. 4.18.** Зависимость давления воздуха в камерах противоперегрузочного костюма от перегрузки:  *А* — для ППК с секционными камерами; *Б* — для ППК с натяжным устройством |

**§ 4.6. ВЕНТИЛИРУЮЩИЕ КОСТЮМЫ**

Вентилирующие костюмы (ВК) служат для защиты организма человека от температурных воздействий окружающей среды. Вентилирующая одежда является всепогодной одеждой, способной не только «охлаждать», но и в случае необходимости «подогревать» летчика.

Вентилирующая одежда должна:

— обеспечивать равномерную вентиляцию всех частей тела без местных перегревов и переохлаждений;

— не стеснять движений, быть мягкой, удобной в эксплуатации;

— иметь малое гидравлическое сопротивление.

Создать обычную одежду, которая защищала бы от перегрева при большой положительной температуре и от переохлаждения при отрицательной температуре, невозможно. Решение этой проблемы было найдено в связи с разработкой специальной вентилирующей одежды.

Вентилирующая одежда сохраняет необходимое равновесие между теплопродукцией человека и теплоотдачей при вентиляции воздухом. В жару вентиляция охлажденным воздухом способствует испарению выделяемой организмом влаги и тем самым его охлаждению. При отрицательной наружной температуре вентиляция теплым воздухом препятствует излишней теплоотдаче и защищает организм от переохлаждения.

Система подачи воздуха для вентиляции костюма позволяет летчику самостоятельно в зависимости от теплоощущения регулировать температуру воздуха от 10 до 80°С. Подача воздуха, имеющего температуру ниже 10°С, может привести к переохлаждению тела. При повышении температуры сверх 80°С не исключена возможность появления ожогов в местах выхода горячего воздуха.  {120}

Потребный расход воздуха зависит от окружающей температуры. При температуре 20—30°С он не превышает 100—150 *л/мин.* При большей (меньшей) температуре расход воздуха увеличивается до 250—300 *л/мин.*

Напор воздуха на входе в костюм должен быть равен гидравлическому сопротивлению системы вентиляции костюма. Это сопротивление у современных костюмов составляет 7—15 *мм рт. ст.* при расходе 200 *л/мин* и изменяется по квадратичному закону для других значений расхода воздуха.

Вентилирующий костюм изготовляется в виде комбинезона, надеваемого на обычно применяемую полетную одежду либо на высотно-компенсирующий костюм, или в виде герметичного комбинезона, надеваемого под скафандр либо под морской спасательный костюм.

Вентилирующий костюм, надеваемый на обычно применяемую полетную одежду или высотно-компенсирующий костюм, предназначен для защиты летчика от перегрева или охлаждения при температуре в кабине от +50 до –50°С. Костюм сшит из прочной ткани типа «капрон — хлопок». Для быстрого надевания и снимания костюма в него вмонтированы застежки «молния».

Вентилирующая система пришита к внутренней поверхности костюма. Поступающий в костюм воздух по гибкому шлангу подается в коллектор. Из коллектора воздух по трубкам подводится ко всем частям тела и выходит через отверстия к коже человека. В летнее время костюм можно использовать как верхнюю полетную одежду. Для защиты от охлаждения при отрицательной температуре на костюм надевается зимняя полетная одежда.

Вентилирующий костюм, предназначенный для надевания под скафандр или морской спасательный костюм, состоит из двух герметичных оболочек, между которыми циркулирует воздух. Материалом для изготовления костюма служит ткань, покрытая тонким слоем резины. Пространство между оболочками заполнено прокладками-шайбами, изготовленными из губчатой резины и установленными в шахматном порядке (рис. 4.19). Подходит воздух к коже через отверстия на внутренней оболочке костюма.

Вентилирующие носки являются важной деталью вентилирующей одежды. Теплозащита ног вызывает немало хлопот. Следует иметь в виду, что в полете летчик все время находится в сидячем положении, которое ухудшает кровоснабжение ног. Необходимо учитывать и то, что потовые железы, реагирующие на тепловое воздействие, распространены по всему кожному покрову, тогда как потовые железы, реагирующие на эмоциональные раздражения, расположены на ладонях, в подмышечных впадинах, на подошвах и на лбу. Поэтому при напряженном внимании и волнении потоотделение и связанное с этим охлаждение конечностей может быть даже при самых больших морозах.

Принцип действия вентилирующих носков тот же, что и у вентилирующего костюма. Между двумя слоями оболочки циркулирует  {121}  воздух, выходит он наружу через отверстия во внутренней оболочке. Основная масса воздуха, поступающего в носок, выходит через отверстия в стельке и обогревает пальцы ног. Надеваются вентилирующие носки на шерстяной носок.

В качестве вентилирующих перчаток используются обычные кожаные перчатки, внутрь которых вставлена трубка для подвода воздуха. Для выхода воздуха на пальцах перчатки делаются отверстия диаметром 1—1,5 *мм.* Потребный расход воздуха через перчатки обычно не более 30—50 *л/мин.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-z3wObQ.png |
| **Рис. 4.19.** Элементы вентилирующего костюма:  *1* — наружная оболочка; *2* — внутренняя оболочка; *3* — прокладка; *4* — отверстие для выпуска воздуха наружу: *5* — отверстия на внутренней оболочке для подачи воздуха к коже человека |

Создание комфортных условий для головы имеет также большое гигиеническое значение. Теплозащита головы при отрицательной температуре обеспечивается тепловым шлемофоном. Значительно труднее создать комфортные условия для головы при температуре 40—50°С и выше. В этом случае хорошие результаты дает применение вентилирующего шлемофона или подшлемника. Вентиляция осуществляется пропусканием воздуха между оболочкой и подкладкой шлемофона или по перфорированной трубке, установленной на шлемофоне. Расход воздуха для вентиляции 20—50 *л/мин.* Использование герметического шлема с вентилирующим устройством ГШ-6М (§ 4.3) в значительной мере улучшило гигиенические условия для головы летчика.

Комплект вентилирующей одежды весит примерно 3,2 *кГ*.

**§ 4.7. Морские спасательные костюмы**

Спасение экипажей самолетов, вынужденных при аварийной ситуации покинуть самолет над морем, представляет большие трудности. Человек, попавший в воду, должен быть защищен от переохлаждения и химического действия растворенных в воде солей, иметь аварийно-спасательные средства. К их числу относятся:

— морской спасательный костюм (МСК);

— авиационный спасательный жилет (АСЖ);

— надувная лодка;

— носимый аварийный запас (НАЗ).

Морской спасательный костюм как индивидуальное средство защитного снаряжения применяется летным составом самолетов, летающих над морем. Он обеспечивает летчику необходимые жизненные условия:

— при нахождении на аэродроме (или в кабине) в течение нескольких часов в различное время года;

— при полетах в загерметизированной или разгерметизированной кабине (допустимая высота полета зависит от типа кислородного оборудования, вместе с которым применяется МСК);

— при аварийном покидании самолета;

— при приводнении;

— при пребывании на плаву в течение многих часов (при температуре воды около 0°С и волнении до 5 баллов и выше).

Нормальная эксплуатация МСК возможна на летательных аппаратах, оборудованных системой подачи воздуха для вентиляции и обогрева (или охлаждения). Потребный расход воздуха зависит от окружающей температуры и колеблется от 50 до 300 *л/мин.*

Морской спасательный костюм состоит из водонепроницаемой оболочки, теплозащитного костюма, вентилирующего костюма, обуви, перчаток, белья и носков.

Водонепроницаемая оболочка (герметичный комбинезон) изготовляется из прочной прорезиненной ткани. Кисти рук и шея герметизируются резиновыми манжетами, исключающими попадание воды под оболочку комбинезона. Для надевания оболочки имеется распах, герметизируемый «аппендиксом», который после надевания оболочки перевязывается шнурком или резинкой. Для выпуска воздуха на водонепроницаемой оболочке устанавливаются пружинные клапаны.

Штанины водонепроницаемой оболочки оканчиваются кольцевым замком, к которому присоединяются герметичные сапоги. Применяются также оболочки, штанины которых выполнены как одно целое с герметичными чулками.

Морской спасательный костюм может удерживать человека на плаву. Чтобы обеспечить летчику устойчивое положение лицом вверх, МСК снабжается плавательным воротом.

Теплозащитный костюм предназначен для защиты летчика от переохлаждения при низкой окружающей температуре, а также  {123}  при плавании в холодной воде. Костюм изготовляется в виде комбинезона из шерстяного трикотажа, поролона и других материалов.

Вентилирующий костюм надевается на белье под теплозащитный костюм.

Обувь, применяемая в комплекте с МСК, изготовляется из прорезиненной ткани или резины с застежками, обеспечивающими быстрое надевание и снимание. Имеются также водонепроницаемые перчатки с утеплением.

МСК может надеваться на высотный компенсирующий костюм. В этом случае наружная водонепроницаемая оболочка МСК должна иметь герметичные вводы для шлангов ВКК и натяжное устройство для крепления гермошлема. Морской спасательный костюм, используемый с ВКК, называют кратко ВМСК.

Комплект морского спасательного костюма весит примерно 10 *кГ* (водонепроницаемая оболочка — 4 *кГ*, теплозащитный и вентилирующий костюмы — по 2 *кГ*, обувь — 1 *кГ*, перчатки теплые герметичные и белье — по 0,5 *кГ*).

К аварийно-спасательным средствам при полете над морем относится, кроме морского спасательного костюма, носимый аварийный запас (НАЗ), служащий для обеспечения жизнедеятельности и спасения человека при приводнении или приземлении после аварийного покидания самолета.

В комплект НАЗ входят продукты питания, радиостанция с источником питания, рыболовные принадлежности, надувная лодка, запас воды, защитные средства от акул, оружие, средства для разведения огня и другие средства, необходимые летчику в аварийной обстановке. Общий вес НАЗ от 10 до 25 *кГ* в зависимости от типа самолета.

**§ 4.8. Высотные скафандры**

Скафандры обеспечивают летному экипажу безопасный длительный полет на высотах, превышающих 12 *км*, при падении избыточного давления воздуха в кабине.

Скафандры защищают летный экипаж не только от низкого барометрического давления, но и от действия высокой температуры воздуха кабины, подвергающейся сильному аэродинамическому нагреву при сверхзвуковых скоростях полета, действия скоростного напора при аварийном покидании самолета и от переохлаждения при приводнении.

Человек может находиться в скафандре практически неограниченное время, тогда как находиться в ВКК может весьма ограниченное время по гигиеническим соображениям и из-за болевых ощущений. Для сравнения в табл. 4.2 приведены допустимые высоты и продолжительность полета при пользовании различным высотным спецснаряжением.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-uHjqKn.png | {124} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BXXleE.png |

Таблица 4.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип снаряжения | | Допустимая высота, *м* | Продолжительность полета |
| Кислородный прибор непре- рывной подачи: | |  |  |
|  | маска открытого типа | 8000—10 000 | Несколько часов |
|  | маска с дополнительной емкостью | 10 000—11000 | То же |
| Кислородный прибор пре- рывной подачи: | |  |  |
|  | маска закрытого типа | 12 000 | » |
|  | маска закрытого типа с компенсированным клапаном выдоха | 14 000 | Несколько минут на ма- ксимальной высоте |
| Комплект кислородного обо- рудования (ККО): | |  |  |
|  | высотно-компенсирую- щий костюм и маска за- крытого типа с компен- сированным клапаном выдоха | 18 000 | То же |
|  | высотно-компенсирую- щий костюм и гермети- ческий шлем | Более 18 000 | » |
| Высотный скафандр | | Не ограничена | Несколько часов |

Высотный скафандр по внешнему веду напоминает мягкий водолазный костюм, изготовленный из нескольких слоев эластичной газонепроницаемой ткани. Основными элементами конструкции скафандра являются: костюм, гермошлем, перчатки, крепежные замки и шланги. Прозрачный герметический шлем из плексигласа крепится к специальному шейному кольцу с помощью замков, обеспечивающих надежное крепление шлема к оболочке скафандра. Аналогично обеспечивается крепление к оболочке скафандра перчаток.

Герметизация скафандра в местах разъемов (шлема, перчаток, сапог) осуществляется кольцеобразными клапанами и металлическими кольцами, имеющими в сечении клинообразный профиль. Такая конструкция создает достаточно надежную герметизацию в соединениях, причем чем больше избыточное давление в скафандре, тем с большей силой будет обжиматься резиновый клапан вокруг клинообразною кольца и тем больше будет герметичность соединения.

Основным силовым элементом конструкции скафандра является силовой каркас, состоящий из колец (шейного, манжет, разъемов сапог) и шарниров, вмонтированных в оболочку из перкаля и соединенных между собой силовыми шнурами или тросиками.

В зависимости от возможных тепловых режимов внешней среды скафандры изготовляются двух-, трех- и четырехслойными.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-d1bwZs.png |
| Рис. 4.20. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха безмасочного вентиляционного скафандра:  *1* — скафандр; *2* — шланг подачи воздуха: *3* — парашютный кислородный прибор; *4* — объединенный разъем; *5* — шланг подачи кислорода: *6* — трубка Вентури; *7* — кран аварийной подачи кислорода; *8* — бортовой кислородный прибор непрерывной подачи; *9* — кислородный редуктор: *10* — приборный вентиль; *11* — индикатор кислородного потока с манометром: *12* — указатель высоты и перепада давления в скафандре: *13* — сигнальная лампочка: *14* — указатель расхода воздуха: *15* — сигнализатор опасной высоты: *16* — обратные клапаны: *17* — автомат давления ППК: *18* — фильтр ППК |

Первый слой снаружи обычно выполняет роль отражателя внешней тепловой энергии. Второй слой изготовляется из перкаля с вмонтированными силовыми шнурами и выполняет роль силовой системы, воспринимающей избыточное давление воздуха в полости скафандра. Третий слой является газонепроницаемой оболочкой и четвертый — теплоизоляционным слоем. Для обеспечения подвижности суставов человека при избыточном давлении в полости скафандра силовая оболочка имеет в местах сгибов специальные эластичные шарниры (типа «апельсиновые дольки»).

Микроклимат в полости скафандра, приближенный к обычным наземным условиям, создается системой кондиционирования скафандра. Нормальная эксплуатация скафандра возможна при наличии на самолете специальной системы кондиционирования воздуха для вентиляции и наддува его в полете.

В зависимости от способа вентиляции и питания кислородом высотные скафандры подразделяются на вентиляционные и регенерационные. Каждый из этих двух типов скафандров может быть выполнен в масочном или безмасочном варианте, т. е. с кислородной маской на лице (внутри герметического шлема) или без нее.

Типовая схема вентиляционного безмасочного скафандра показана на рис. 4.20. Воздух для вентиляции скафандра отбирается от компрессора двигателя, проходит через агрегаты регулирования расхода и температуры и поступает в оболочку, где по специальной системе трубок распределяется по всей внутренней полости скафандра. Этим обеспечивается удаление из скафандра водяных паров и углекислоты, выделяемых человеком. Шлем отделен от костюма скафандра герметичной шторкой. В шлем подается кислород от кислородного прибора.

Вентилирующая газовая смесь выходит из скафандра через регулятор давления, устанавливаемый на оболочке. Этот регулятор свободно выпускает газовую смесь до высоты 8—11,5 *км*, на больших высотах поддерживает в скафандре постоянное абсолютное давление.

При катапультировании питание кислородом осуществляется автоматически от парашютного кислородного прибора.

В скафандрах регенерационного типа для очистки газовой смеси от углекислоты, паров воды и других примесей используются специальные поглотители. Кислород в скафандр подается из баллонов. Имеются специальные химические вещества (например, надперекиси щелочных металлов), способные выделять кислород при одновременном поглощении углекислого газа и паров воды. Циркуляция газовой смеси по замкнутому контуру скафандр — поглотительные патроны обеспечивается вентиляторами.

**Глава 5**

**ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА КИСЛОРОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Как было установлено ранее, существенную роль в системах кислородного обеспечения играют регуляторы подачи кислорода. В реальных системах эти регуляторы совместно с другими элементами (редуктором низкого давления, автоматом подсоса воздуха, механизмом малого избыточного давления и регулятором избыточного давления) объединены в единую конструкцию, называемую кислородным прибором.

В самолетных системах кислородного питания кислородные приборы можно классифицировать по двум признакам:

1. По назначению:

— стационарные (бортовые), закрепленные на борту самолета вблизи рабочих мест членов экипажа;

— нестационарные, закрепленные на подвесной парашютной системе летчика;

— переносные, применяемые при перемещении членов экипажа по самолету;

— парашютные, применяемые при катапультировании.

2. По принципу действия:

— непрерывной подачи кислорода;

— прерывной (периодической) подачи кислорода (типа «легочный автомат»); эти кислородные приборы, в свою очередь, разделяются на приборы без избыточного давления кислорода и приборы с избыточным давлением кислорода;

— комбинированной подачи кислорода.

**§ 5.1. Бортовые кислородные приборы непрерывной подачи**

Бортовые кислородные приборы непрерывной подачи кислорода предназначены для одновременного питания кислородом до 20 пассажиров, десантников или раненых при полете до высоты 8—12 *км.*

Бортовые кислородные приборы непрерывной подачи коллективного пользования типа КП-32 и КП-56 применяются на транспортных и пассажирских самолетах.  {128}

**Кислородный прибор КП-32.** Принципиальная схема кислородного прибора КП-32 представлена на рис. 5.1. Прибор состоит из регулятора давления *I*, регулятора подачи *II*, предохранительного клапана *III* и устройства *IV* для дополнительной подачи кислорода. Кислородный прибор КП-32 работает следующим образом. При отсутствии давления кислорода на входе регулятора *I* клапан *5* под давлением результирующей силы пружины *2* и *6* находится

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-6jVIP4.png |
| **Рис. 5.1.** Принципиальная схема кислородного прибора КП-32:  *I* — регулятор давления; *II* — регулятор подачи; *III* — предохранительный клапан; *IV* — устройство дополнительной подачи кислорода; *1* — анероид; *2*, *6*, *15* — пружины; *3*, *10* — мембраны; *4* — полость регулятора давления; *5*, *8* — клапаны; *7*, *11* — толкатели; *9* — полость регулятора подачи; *12* — рукоятка дополнительной подачи кислорода; *13* — рычаг; *14* — шток |

в открытом положении. При подаче кислорода на вход регулятора *I* и поступлении его в межредукторную полость давление на мембрану *3* (при. отсутствии расхода кислорода из межредукторной полости) начнет возрастать. Нарастание давления будет происходить до тех пор, пока суммарная сила этого давления и пружины *6*, действующих на мембрану сверху вниз, не преодолеет силу пружины *2*. В этот момент клапан *5* закроется и прекратится доступ кислорода в межредукторную полость. Давление кислорода в межредукторной полости, при котором прекращается дальнейший доступ в нее кислорода, называется установочным. Величина его может меняться натяжением пружины *2.* До высоты 2 *км* под действием своей пружины клапан *8* закрывает выход кислорода из межредукторной полости. При этом пружина *15* под действием анероида *1* находится в сжатом состоянии и кислород к маске не поступает.  {129}

По мере увеличения высоты (с 2 *км*) анероид, расширяясь, начинает постепенно освобождать пружину 75, которая через толкатель *7* начинает приоткрывать клапан *8.* С увеличением высоты клапан *8* приоткрывается все больше и больше и, следовательно, подача кислорода увеличивается. При расходе кислорода давление в межредукторной полости начинает падать, клапан *5* открывается. Таким образом, подача кислорода увеличивается с высотой. При нормальной работе прибора давление в питающей кислородной магистрали должно соответствовать на каждой заранее заданной высоте тем величинам, которые указаны в табл. 5.1 (зависимости давления от высоты в кабине). На случай недостаточной подачи кислорода в маску по высотам в регуляторе КП-32 предусмотрено специальное устройство *IV* дополнительной подачи кислорода. Оно позволяет вручную повышать давление в питающей магистрали до нужной величины (табл. 5.1).

Таблица 5.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота, *км* | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Давление, *ат* | 0,5 | 1.0 | 1,7 | 3,0 | 2,0—3,8 | 2,8—4,3 | 3,4—5,6 |

Из питающей магистрали кислород поступает в маску. Предохранительный клапан *III*, предусмотренный в схеме, служит для сброса давления из межредукторной полости прибора, если давление достигает предельного значения.

Кислородный прибор КП-32 рассчитан на одновременное питание кислородом 20 человек. Величины подачи кислорода через одну точку питания (при одновременном включении всех 20 точек потребления кислорода) приводятся в табл. 5.2. Максимальная величина подачи, создаваемая устройством дополнительной подачи кислорода, не превышает 12 *л/мин.* Установочное давление в приборе не превышает 10,5 *ат.*

Таблица 5.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота, *км* | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Подача, *л/мин* | 1.5 | 2,0 | 1,0—3,0 | 2,0—4,5 | 3,0—5,5 | 4,0—6,5 | 4,7—7,0 |

Предохранительный клапан открывается полностью при давлении 13—14 *ат.*

Внешний вид прибора КП-32 показан на рис. 5.2, а конструктивная схема дана на рис. 5.3.  {130}

Регулятор *I* давления и регулятор *II* подачи кислорода смонтированы на основании *1.* С обратной стороны основания помещен анероид, воздействующий на регулятор подачи кислорода по высотам через толкатель *9.* На стойке, прикрепленной к основанию, смонтирован ручной регулятор *IV* подачи кислорода. Прибор закрыт кожухом, на котором стрелками указано направление потока кислорода от входного штуцера *4* к выходному штуцеру *7*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-cbi1Az.jpg |
| Рис. 5.2. Внешний вид кислородного прибора КП-32 |

(рис. 5.2). Предохранительный клапан *III* смонтирован между регулятором давления *I* и регулятором подачи кислорода *II*.

**Кислородный прибор КП-56.** Принципиальная схема кислородного прибора КП-56 представлена на рис. 5.4. Прибор состоит из следующих основных частей: регулятора *I* подачи, регулятора *II* давления, мембраны *12*, перепускного *10* и предохранительного *11* клапанов. Рассмотрим работу прибора КП-56. До высот порядка 2—4 *км* кислород прибором КП-56 не подается, так как анероид *5* регулятора давления сжат, клапан *7* закрыт пружиной *9.* С увеличением «высоты» в кабине самолета анероид *5* расширяется и давит через толкатель и мембрану на рычаг *8.* Клапан *7* под действием пружины отходит от седла, открывая доступ кислорода в полость *А*, а затем по каналу *Б* в подмембранную полость *В* прибора.

Давление кислорода, возникшее в полости Л, воздействует на мембрану *6* и через толкатель *4* сжимает анероид. При этом клапан  {131}  *7* под действием пружины *9* посредством рычага *8* закрывается. Таким образом, в полостях *А* и *В* прибора устанавливается вполне определенное давление, величина которого зависит от усилия, развиваемого анероидом *5.* Но это усилие зависит от «высоты» в кабине, следовательно, давление в полости *В* будет тем выше, чем больше «высота» в кабине. Под действием этого давления

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-6W__rz.png |
| **Рис. 5.3. Конструктивная схема прибора КП-32:**  *I* — регулятор давления: *II* — регулятор подачи; *III* — предохранительный клапан: *IV* — ручной регулятор подачи кислорода; *1* — основание; *2* — пружина; *3, 8* — мембраны; *4* — входной штуцер; *5, 6* — клапаны; *7* — выходной штуцер; *9* — толкатель |

мембрана *12* прогнется внутрь прибора, клапан подачи *2* откроется и кислород будет поступать в полость *Г* прибора до тех пор, пока давление в ней не сравняется с давлением в полости *В.* В этот момент клапан *2* закроется. Таким образом, давление, формируемое в полости *Г*, будет также зависеть от «высоты» в кабине. Далее кислород из полости *Г* прибора с давлением, пропорциональным «высоте» в кабине, подается к индивидуальным точкам (ИТ) кислородного питания. При снижении «высоты» в кабине самолета уменьшается давление в магистрали вследствие падения давления в полостях *А* и *В.* Выравнивание давлений между полостями *А, В* и *Г* прибора происходит через дюзу *13.*

Перепускной клапан *10* препятствует возникновению одностороннего давления на мембрану *12* при больших расходах кислорода через клапан *2*, когда кислородный прибор не включен в работу, т. е. когда не подсоединены кислородные маски к индивидуальным точкам кислородного питания.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YPtz0y.png |
| Рис. 5.4. Принципиальная схема кислородного прибора КП-56:  *I* — регулятор подачи; *II* — регулятор давления; *1*, *4* — толкатели; *2* — клапан подачи; *3, 9* — пружины; *5* — анероид; *6* — мембрана: *7* — клапан регулятора давления; *8* — рычаг; *10* — перепускной клапан; *11* — предохранительный клапан; *12* — мембрана; *13* — дюза; *14* — рычаг |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-UTwxqb.png |
| Рис. 5.5. Внешний вид кислородного прибора КП-56 |

При возникновении больших давлений в полостях *А* и *В* (из-за неплотного прилегания клапанов *2* и *7*) кислород будет стравливаться в атмосферу кабины через предохранительный клапан *11.*

Внешний вид прибора показан на рис. 5.5, а его конструктивный разрез по сечению *АА* — на рис. 5.6.

Для получения стабильной характеристики подачи кислорода прибором в диапазоне температур от –50 до +60°С рычаг клапана *7* (рис. 5.4) регулятора давления выполнен в виде термобиметаллической пластины. Указанное устройство компенсирует ход анероида, обусловленный изменением его жесткости в зависимости от температуры при неизменной высоте.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xujk8e.png |
| Рис. 5.6. Конструктивная схема кислородного прибора КП-56:  *1* — основание; *2* — корпус; *3* — регулятор подачи; *4* — регулятор давления; *5* — перепускной клапан |

**§ 5.2. Бортовые кислородные приборы прерывной подачи**

Кислородные приборы прерывной подачи получили широкое распространение из-за более экономичного расходования кислорода. В зависимости от высоты полета используются кислородные приборы прерывной подачи кислорода без избыточного давления и с избыточным давлением. К кислородным приборам прерывной подачи без избыточного давления относится прибор КП-58, рассчитанный на применение до высот 12 *км.* К приборам прерывной подачи кислорода с избыточным давлением относятся кислородный прибор КП-24М (до высот 14 *км*) и приборы КП-34 и КП-52М (высота более 14 *км*). Следует отметить, что кислородные приборы КП-24М и КП-34 относятся к группе стационарных приборов, размещенных на борту самолета, а КП-52 и КП-58 — к нестационарным кислородным приборам, связанным с аварийной парашютной подвесной системой.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-q445ZH.png |
| **Рис.** 5.7. Принципиальная схема кислородного прибора КП-58:  *1* — мембрана; *2* — предохранительный клапан; *3* — рычаг; *4* — основной клапан подачи; *5* — поршень; *6* — дюза; *7* — клапан; *8* — мембрана автомата подсоса воздуха; *9* — пружина; *10* — толкатель; *11* — клапан автомата подсоса воздуха |

**Кислородный прибор КП-58.** Он предназначен для обеспечения десантника кислородом до высоты 12 *км.* Принципиальная схема прибора показана на рис. 5.7.

Кислородный прибор КП-58 работает следующим образом. При отсутствии давления кислорода на входе прибора человек дышит только воздухом, поступающим через клапан *11* подсоса воздуха. В этом случае клапан *7* открыт, а клапан *4* закрыт.

При появлении на входе прибора давления; которое регулируется по высотам прибором непрерывной подачи КП-56, кислород непрерывным потоком поступает по каналам в приборе  {135}  КП-58 через открытый клапан *7* и дюзу *6* в подмембранную полость прибора и далее в маску. В маске, герметично надетой на лицо, создается малое избыточное давление порядка 15—30 *мм вод. ст.*, поддерживаемое клапаном выдоха маски. Под действием этого давления мембрана прогнется вверх и рычагом *3* прикроет клапан *7*. Это приведет к повышению давления в полости *А* прибора, вследствие чего мембрана *8*, преодолев усилие пружины *9*, через толкатель прижмет клапан *11* подсоса воздуха к седлу. В результате этого непрерывное истечение кислорода в прибор и маску прекратится (при герметичном прилегании маски к лицу).

При неплотном прилегании маски к лицу малое избыточное давление в маске и в полости *В* прибора падает, что вызывает возвращение клапана *7* в исходное (открытое) положение. Кислород через дюзу *6* непрерывным потоком поступает в маску, предотвращая подсос воздуха из атмосферы кабины.

Предохранительный клапан *2* предназначен для перепуска кислорода в маску при возникновении больших избыточных давлений в полости *А* прибора.

Во время вдоха в полости *В* прибора создается разрежение, вследствие чего мембрана *1* прогнется вниз и рычаг *3* освободит клапан *7*. Последний под действием своей пружины открывается на большую величину, и кислород через дюзу *6* поступает в полость *В* прибора и в маску. Давление, возникшее перед дюзой, через поршень *5* создаст противодавление на основной клапан *4* подачи кислородного прибора и тем самым снимет часть усилия прижатия клапана *4* к седлу пружиной и давлением кислорода, благодаря чему уменьшится сопротивление его открытию.

Дюза *6*, как правило, не обеспечивает необходимой подачи кислорода. Поэтому в маске и полости *В* прибора продолжает создаваться разрежение и мембрана *1* прогнется вниз еще больше. В результате этого основной клапан *4* подачи откроется рычагом *3* через толкатель с поршнем *5.* Увеличившийся расход кислорода через открытые клапаны *4 и 7* вызовет падение давления на входе прибора и в системе. Ввиду того что подача кислорода к прибору КП-58 ограничена прибором КП-56 и дюзой точки питания (ИТ), величина падения давления в приборе зависит от потребляемого для дыхания количества кислорода.

При малой легочной вентиляции величина подачи кислорода полностью обеспечивает потребность человека в кислороде.

При большой легочной вентиляции давление в полостях прибора и системе падает настолько, что пружина *9*, преодолевая усилие давления кислорода на мембрану *8*, отводит толкатель от клапана *10.* Последний усилием, равным разности давлений, откроется, и произойдет подсос воздуха из атмосферы кабины.

На «высотах» в кабине самолета более 9,5 *км* прибор КП-58 обеспечивает дыхание чистым кислородом, так как на этих высотах кислородный прибор непрерывной подачи КП-56 подает достаточное  {136}  количество кислорода для вдоха. При покидании десантником самолета питание кислородом из парашютного прибора КП-43 осуществляется через прибор КП-58. Расход кислорода из КП-43 при парашютировании в этом случае происходит более экономно, что позволило значительно уменьшить емкость и габариты прибора КП-43.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ykloRe.png |
| Рис. 5.8. Внешний вид кислородного прибора КП-58 |

Внешний вид прибора КП-58 показан на рис. 5.8, а конструктивная схема кислородного прибора КП-58 (продольный разрез по *АА*) приведена на рис. 5.9.

Порядок включения кислородного прибора КП-58 в систему кислородного питания самолета и его работа в системе описаны в § 6.3.

**Кислородный прибор КП-24М.** Он предназначен для подачи кислорода членам экипажа до высоты 14 *км.* Принципиальная схема кислородного прибора КП-24М показана на рис. 5.10.

Кислородный прибор КП-24М работает следующим образом. Кислород под давлением от 6 до 30 *ат* поступает в редуктор *1*, понижающий давление кислорода-до 3—4 *ат.* При вдохе усилием легких в полости регулятора создается разрежение, вследствие чего мембрана *12* прогибается внутрь прибора и нажимает на длинное плечо рычага *14* клапана *16* подачи кислорода. Рычаг *14*, поворачиваясь вокруг оси *15*, коротким плечом открывает клапан *16*, отводя его от седла. Из полости редуктора *1* через открытый клапан подачи кислород устремляется в сопло эжектора *13.* Кислород, протекая через сопло эжектора с большой скоростью, создает в полости эжектора под клапаном *27* разрежение, вследствие чего этот клапан срабатывает. Автомат подсоса воздуха, снабженный дополнительным каналом с анероидом *30*, до высоты 2 *км* обеспечивает (при малой легочной вентиляции) подачу к дыхательным путям только воздуха кабины. На высоте 2 *км* анероид *30*, расширяясь, заставляет клапан *29* перекрыть дополнительный канал подсоса. С этого момента воздух кабины поступает в прибор через основной канал автомата подсоса воздуха, обеспечивая на высотах более 2 *км* требуемую концентрацию кислорода во вдыхаемом воздухе. На высоте 10 *км* подсос воздуха полностью прекращается. Одновременно с  {137}  клапаном *16* подачи при вдохе вступает в работу редуктор *1.* Открытие клапана *16* вызывает падение давления кислорода в полости редуктора *1.* Под действием главной пружины мембрана редуктора прогибается внутрь полости редуктора, а клапан под действием вспомогательной пружины отходит от седла, открывая доступ кислорода в полость редуктора. Во время выдоха клапан *16* закрывается; кислород, поступающий в полость редуктора, вызывает

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-DbUv26.png |
| Рис. 5.9. Конструкция кислородного прибора КП-58:  *1* — корпус; *2* — ниппель для присоединения маски; *3* — механизм легочного автомата; *4* — мембрана |

повышение давления на мембрану. В результате этого мембрана преодолевает усилие главной пружины, прогибается вниз и с помощью рычага и толкателя сжимает вспомогательную пружину и закрывает клапан редуктора *1*; поступление кислорода в полость редуктора прекращается.

Для устранения влияния негерметичности маски на величину парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе в схеме КП-24М предусмотрен механизм малого избыточного давления, который работает следующим образом. На высоте 5—8 *км* подвижный центр анероида *26* нажимает на мембрану *25* и толкатель *24* и в результате открывается клапан *23.* Кислород из редуктора через дюзу *22* поступает к нормально открытому клапану *21* и далее, открывая обратный клапан *18*, поступает в эжектор. В этом случае прибор КП-24М работает в режиме непрерывной

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-IsYzJf.png |
| Рис. 5.10. Принципиальная схема кислородного прибора КП-24М:  *1* — редуктор; *2* — клапан редуктора; *4* — рукоятка аварийной подачи кислорода; *3, 5*, 22 — дюзы; *6* — анероид пускателя; *7* — маховичок; *8* — пружина; *9* — клапан регулятора избыточного давления; *10* — анероид механизма избыточного давления; *11* — вакуумный клапан; *12* — мембрана; *13* — эжектор; *14, 20* — рычаги; *15* — ось рычага; *16* — основной клапан подачи; *17* — предохранительный клапан; *18, 27* — обратные клапаны; *19* — пружина механизма малого избыточного давления; *21* — клапан; *23* — клапан непрерывной подачи; *24* — толкатель; *25* — мембрана; *26* — анероид; *28* — мембрана механизма малого избыточного давления; *29* — клапан дополнительного канала; *30* — анероид дополнительного канала; *31* — рукоятка выключения подсоса воздуха |

подачи кислорода. Дюза *22* ограничивает непрерывную подачу до 20 *л/мин* (при полностью открытом клапане *23*).

Таким образом, механизм малого избыточного давления можно назвать механизмом дополнительной подачи кислорода, обеспечивающем среднюю легочную вентиляцию.

Если маска герметична, то механизм дополнительной подачи кислорода выполняет роль регулятора малого избыточного давления. При герметичной системе (в момент выдоха) истечение кислорода в подмембранную полость прибора через дюзу *22* вызовет повышение давления в этой полости. При избыточном давлении порядка 30—40 *мм вод. ст.* мембрана *28* механизма дополнительной подачи прогнется вниз и с помощью рычага *20*, преодолев усилие пружины *19*, закроет клапан *21.* Подача кислорода в подмембранную полость прибора прекратится. В момент вдоха давление в подмембранной полости понизится, мембрана *28* под действием пружины *19* и перепада давления прогнется внутрь. Это приведет к открытию клапана *21* и дополнительному истечению кислорода в полость прибора; при выдохе клапан *21* закроется вновь. Таким образом, ограничителем избыточного давления будет служить клапан *21* с пружиной *19.*

При большой легочной вентиляции, помимо механизма дополнительной подачи, будет включаться в работу основной регулятор прерывной подачи, восполняя недостаток в кислороде.

На высотах выше 11—13 *км* в маске создается избыточное давление кислорода, возрастающее с увеличением высоты. Избыточное давление для поддержания необходимой величины парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе обеспечивается основным регулятором избыточного давления, расположенным в надмембранной полости регулятора подачи кислорода прибора КП-24М. Этот регулятор работает следующим образом. С высоты 11—13 *км* срабатывает анероид *6* пускателя, в результате чего из редуктора *1* через дюзу *5* в надмембранную полость поступает кислород. С этого момента в надмембранной полости создается и поддерживается потребное избыточное давление, зависящее от усилия прижатия клапана *9* к седлу анероидом *10* и пружиной клапана *9.* При чрезмерном повышении давления клапан открывается и излишек кислорода стравливается в атмосферу. Избыточное давление в надмембранной полости воздействует на мембрану *12*, вследствие чего мембрана прогибается и с помощью рычага *14* открывает клапан *16*, пропуская кислород в подмембранную полость, а затем и в маску. Клапан *16* закрывается только по достижении равенства давлений с обеих сторон мембраны *12.* Количество кислорода, непрерывно поступающего в надмембранную полость при этом режиме работы, ограничивается дюзой *5* и не превышает 3 *л/мин.* Для сохранения избыточного давления в кислородной системе применяется маска КМ-32 с компенсированным клапаном выдоха, компенсатором натяга и регулятором избыточного давления РД-24 (рис. 7.3).  {140}

При пользовании парашютным кислородным прибором КП-23 избыточное давление регулируется по высотам регулятором маски РД-24 (рис. 7.3). Величина избыточного давления при работе регулятора РД-24 будет выше величины избыточного давления, обеспечиваемого регулятором — анероидом *10* (рис. 5.10), примерно на 100—200 *мм вод. ст.* Поэтому при работе маски с прибором КП-24М регулятор избыточного давления РД-24 не вступает в работу.

При затрудненном дыхании или плохом самочувствии необходимо включить аварийную подачу поворотом рукоятки *4* в положение «Открыто». При этом кислород непрерывным потоком будет поступать из полости редуктора через дюзу *3* в полость прибора. В этом случае, как и при пользовании аварийным прибором КП-23, избыточное давление в маске создается благодаря непрерывному потоку кислорода и регулируется по высотам регулятором избыточного давления маски РД-24.

При случайном возникновении в подмембранной полости прибора КП-24М избыточного давления более 800 *мм вод.* открывается специальный предохранительный клапан *17*, который в результате перепуска излишнего количества кислорода снижает избыточное давление. При возникновении отрицательного перепада давления в надмембранной полости регулятора подачи прибора КП-24М относительно давления воздуха в герметической кабине (что может быть при резком возрастании давления воздуха в кабине) открывается вакуумный клапан *11* и давление в надмембранной полости выравнивается с внешним давлением воздуха в герметической кабине. В результате работы вакуумного клапана *11* возрастание сопротивления вдоху не наблюдается. Это сопротивление увеличивается при наличии на мембране *12* отрицательного перепада давления.

Для проверки герметичности системы прибора КП-24М (рис. 7.3 и 5.10) в наземных условиях избыточное давление в маске может быть создано вручную. Для этого следует рукоятку выключения подсоса воздуха *31* поставить в положение «100% O2», закрыть пальцем отверстие *11* на корпусе регулятора избыточного давления маски РД-24 и поворачивать маховичок *7* против часовой стрелки до тех пор, пока стрелка манометра избыточного давления М-1000 не достигнет отметки «3», что соответствует избыточному давлению 300 *мм вод. ст.* При этом пружина *8* нажмет на подвижный центр мембраны *12* и рычаг *14* откроет клапан *16.* Из полости редуктора *1* кислород будет поступать в маску до тех пор, пока давление на мембрану *12* снизу не преодолеет усилие пружины *8*; последняя сожмется, а клапан *16* закроется. При негерметичности системы клапан *16* останется открытым и кислород непрерывной струей будет истекать через негерметичные места системы.

Внешний вид кислородного прибора КП-24М показан на  {141}  рис. 5.11, а его конструктивная схема (продольный разрез) показана на рис. 5.12.

Прибор КП-24М состоит из следующих основных конструктивных узлов: корпуса прибора *1*, рычажного редуктора *9*, легочного автомата (мембраны *7*), эжектора *13*, автомата *2* подсоса воздуха

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-M_983V.png |
| **Рис. 5.11.** Внешний вид кислородного прибора КП-24М |

с дополнительным обводным каналом и рукояткой его, выключения, крышки *3* прибора, входного штуцера *10* с рукояткой *8* аварийной подачи и предохранительным клапаном *11*, механизма пускателя *6*, регулятора *4* избыточного давления и рукоятки *5* для создания избыточного давления кислорода.

Порядок включения кислородного прибора КП-24М и его работа в системе кислородного питания самолета описаны в § 7.1.  {142}

**Кислородный прибор КП-34.** Он относится к классу регуляторов комбинированной подачи кислорода и предназначен для подачи кислорода в маску (гермошлем) и в камеры натяжного устройства высотно-компенсирующего костюма. Прибор КП-34 используется в комплектах кислородного оборудования (ККО) самолетов, рассчитанных на высоту полета более 14 *км.* Принципиальная схема прибора КП-34 показана на рис. 5.13.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-EDW1bc.png |
| Рис. 5.12. Конструктивная схема кислородного прибора КП-24М:  *1* — корпус прибора; *2* — автомат подсоса воздуха; *3* — крышка; *4* — регулятор избыточного давления; *5* — рукоятка для создания избыточного давления; *6* — пускатель; *7* — мембрана легочного автомата; *8* — рукоятка аварийной подачи; *9* — редуктор; *10* — входной штуцер; *11* — предохранительный клапан; *12* — мембрана редуктора; *13* — эжектор; *14* — мембрана механизма малого избыточного давления |

Режим работы прибора КП-34 зависит от «высоты» в кабине и величины легочной вентиляции летчика.

Работа прибора на высотах полета более 12 *км* в загерметизированной кабине не отличается от работы на высотах до 12 *км* в разгерметизированной кабине, поскольку «высота» в загерметизированной кабине не превышает обычно 8—9 *км.* В свою очередь, работа прибора в указанных условиях не будет отличаться от работы прибора КП-24М, подробно рассмотренной выше. Замеченная аналогия в работе объясняется тем, что кислородный прибор КП-34 отличается от прибора КП-24М лишь некоторыми дополнительными устройствами, в частности, автоматическим устройством (анероид *12* пускателя) наполнения кислородом

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ruvRVR.png | {143} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-y2Bkdd.png |

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-BEgdQi.png |
| Рис. 5.13. Принципиальная схема кислородного прибора КП-34:  *1* — редуктор; *2* — входной штуцер; *3* — клапан пускателя; *4*, *8*, *13*, *20* — дюзы; *5* — блокировочный клапан; *6* — трубопровод клапана блокировки; *7* — мембрана реле времени; *9* — пружина; *10* — реле времени: *11* — конический клапан; *12* — анероид пускателя; *14* — клапан блокировки; *15* — мембрана; *16* — механизм для создания избыточного давления вручную; *17* — анероид аварийного регулятора избыточного давления; *18* — клапан; *19* — обратный клапан: *21* — клапан перепуска; *22* — штуцер; *23* — мембрана легочного автомата: *24* — эжектор; *25* — пружина эжектора; *26* — рычаг; *27* — клапан подачи кислорода |

камер натяжного устройства высотно-компенсирующего костюма с пневматическим реле времени *10*, клапаном *14* блокировки, выравнивающими клапанами *19* и *21* и наличием тросового (боуденовского) дистанционного управления работой прибора вручную. Все указанные дополнительные устройства прибора КП-34 на высотах полета более 12 *км* в загерметизированной кабине в работе не участвуют. Они вступают в работу в момент разгерметизации кабины на высотах полета более 12 *км.*

Автоматическое устройство (анероид *12* пускателя) служит для форсированной подачи кислорода (с расходом порядка 400 *л/мин*) в камеры натяжного устройства костюма при разгерметизации кабины на высотах более 12 *км*, с тем чтобы закомпенсировать тело летчика в течение 1,5—2 *сек.*

Пневматическое реле времени обеспечивает временную задержку в создании избыточного давления кислорода в легких до тех пор, пока на тело летчика не будет создано противодавление с помощью ВКК.

Работа прибора в момент разгерметизации кабины осуществляется следующим образом. Анероид *12* механизма подачи кислорода в костюм на высоте 11—13 *км* открывает клапан *3* пускателя и, в свою очередь, закрывает конический клапан *11*, разобщая полость механизма с атмосферой. Кислород из редуктора *I*поступает в полость под мембраной *7* и через дюзу *8* — в полость реле времени *10.* Под действием разности давлений мембрана прогнется вверх, преодолевая силу упругости пружины *9*, закроется блокировочный клапан *5* и кислород через большое проходное сечение будет поступать в пневмокамеру ВКК. К моменту полного заполнения костюма кислородом (рекомпрессии тела летчика) давление над мембраной *7* реле времени выравнивается через дюзу с давлением под мембраной. Это означает, что реле времени сработало.

В результате под действием пружины *9* откроется клапан *5* и кислород начнет поступать к клапану *14* блокировки, выключая его из работы. Одновременно кислород через дюзу *13* начнет поступать в надмембранную полость прибора для формирования необходимого избыточного давления.

После срабатывания реле времени кислород через дюзу *4* с малой подачей (порядка 20 *л/мин*) продолжает поступать в ВКК и маску (гермошлем).

Клапан *14* блокировки применяется для защиты легких человека от взрывной декомпрессии в момент разгерметизации кабины, ограничивает в первый момент работы системы избыточное давление в легких, обусловленное расширением воздуха в них. В момент разгерметизации кабины расширяющийся воздух из легких свободно (сопротивление порядка 70 *мм вод. ст.*) выходит через клапан выдоха маски.

Таким образом, анероид *12* пускателя, реле времени *10* и блокировочный клапан *14* совместно решают очень ответственную  {145}  задачу — предотвращают резкое возрастание давления кислорода в легких из-за его расширения в момент разгерметизации и одновременно создают необходимое первоначальное противодавление на тело летчика и таким образом подготавливают организм человека к безболезненному восприятию избыточного давления кислорода.

Из изложенного следует, что при разгерметизации кабины прибор КП-34 работает в режиме непрерывной подачи кислорода в маску (ГШ) через дюзу *4.*

При большой легочной вентиляции в рассматриваемых условиях в приборе предусмотрена комбинированная (непрерывная и прерывная) подача кислорода к дыхательным путям летчика. Включение в работу прерывной подачи осуществляется усилием легких, как и в обычных условиях при отсутствии непрерывной подачи. Но чтобы обеспечить работу регулятора прерывной подачи одновременно с работой регулятора непрерывной подачи (параллельную работу регуляторов), необходимо уменьшить сопротивление вдоху, которое определяется разностью давлений над и под мембраной прибора. Величина сопротивления вдоху тем больше, чем больше абсолютное давление кислорода под мембраной *23* относительно давления над мембраной. В режиме непрерывной подачи кислорода в маску (ГШ) давление в подмембранной полости прибора всегда несколько больше давления в надмембранной полости. Поэтому для облегчения вдоха необходимо добиться такого положения, чтобы давление в надмембранной полости прибора было немного больше или хотя бы равно давлению кислорода в подмембранной полости. Для повышения давления кислорода в надмембранной полости в схеме прибора предусмотрены клапан *21* перепуска и дюза *20*, которые вследствие своего гидравлического сопротивления непрерывному потоку кислорода обеспечивают в надмембранной полости некоторое повышение давления по сравнению с давлением в подмембранной полости прибора. Это как раз и есть необходимое условие параллельной работы регуляторов прерывной и непрерывной подачи кислорода При незначительном разрежении в подмембранной полости прибора КП-34 возникает необходимый перепад давления на мембране *23*, обеспечивающий включение клапана *27* подачи кислорода.

Порядок включения кислородного прибора КП-34 и его работа в комплекте кислородного оборудования ККО-3 описаны в § 8.2.

Внешний вид кислородного прибора КП-34 показан на рис. 5.14.

**Кислородный прибор КП-52М.** Он предназначен для подачи кислорода в маску (гермошлем) и камеры натяжного устройства ВКК.

Прибор КП-52М, так же как и КП-34, используется в комплектах кислородного оборудования самолетов, рассчитанных для полетов на высотах более 14 *км.*

Прибор КП-52М отличается от описанных выше кислородных приборов значительно меньшими весом и габаритами, имеет меньшее  {146}  сопротивление вдоху, более удобен в эксплуатации. Кроме того, прибор КП-52М размещается не на борту самолета, а на подвесной системе парашюта. Это позволило увеличить высоту вынужденного покидания самолета экипажем без увеличения запаса кислорода в парашютном кислородном приборе, так как из прибора КП-27М кислород при парашютировании расходуется через прибор КП-52М.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-yPAC3C.jpg |
| **Рис. 5.14.** Внешний вид кислородного прибора КП-34 с механизмом дистанционного управления |

Принципиальная схема кислородного прибора КП-52М показана на рис. 5.15. Работа прибора на высоте до 12 *км* в разгерметизированной кабине во многом подобна работе прибора КП-58 (рис. 5.7). Отмеченная аналогия в работе объясняется тем, что схема прибора КП-52М для рассматриваемого режима отличается от схемы прибора КП-58 лишь дополнительным каналом вентиляции гермошлема (ВУШ), который включается вручную по желанию летчика, а выключается автоматически, как только прибор КП-52М переходит на режим работы с избыточным давлением на «высоте» в кабине более 12 *км.* Когда канал вентиляции шлема (ВУШ) закрыт, данный прибор работает, так же как и прибор КП-58.

Для обеспечения необходимой величины парциального давления кислорода в гермошлеме на «высоте» в кабине более 12 *км* в схеме прибора (рис. 5.15) предусмотрен ряд дополнительных

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-fNaz3e.png |
| **Рис.** 5.15. Принципиальная схема кислородного прибора КП-52М:  *1* — основной клапан подачи; *2* — вспомогательный клапан подачи: *3* — регулятор избыточного давления с демпфирующим устройством: *4* — клапан регулятора избыточного давления; *5* — предохранительный клапан; *в* — рычаг; *7* — мембрана: *8* — клапан костюмной линии: *9* — клапан подачи кислорода в надмембранную полость: *10* — вакуумный клапан; *11* — клапан сброса давления; *12* — регулятор соотношения давлений; *13* — клапан подсоса воздуха |

устройств: регулятор *3* избыточного давления, конструктивно выполненный в виде анероидного блока, размещенного в стакане с дюзой, с клапаном *4*, перекрывающим выход кислорода из надмембранной полости прибора КП-52М; клапан *8* костюмной линии; клапан *9* подачи кислорода в количестве 2—3 *л/мин* в надмембранную полость прибора; регулятор *11* клапана сброса давления из-под клапана выдоха гермошлема; регулятор *12* соотношения давлений.

Работа прибора в момент разгерметизации кабины на высоте полета более 12 *км* осуществляется следующим образом. На вход прибора КП-52М от специального бортового регулятора подачи кислорода (РПК) поступает кислород непрерывным потоком в количестве не менее 200 *л/мин.* В результате этого на мембране клапана *8* костюмной линии возникает определенной величины перепад давления, заставляющий данную мембрану прогнуться вверх. Клапан костюмной линии откроется, и кислород непрерывным потоком начнет поступать в камеры натяжного устройства высотно-компенсирующего костюма (ВКК).

В течение первых 1—2 *сек* после разгерметизации кабины происходит заполнение кислородом камер натяжного устройства ВКК и сброс избыточного количества газа из полости гермошлема для ограничения избыточного давления в легких в момент резгерметизации кабины. Указанный сброс газа обеспечивается тем, что полость под компенсированным клапаном выдоха гермошлема и над-мембранная полость прибора КП-52М в течение указанного времени сообщены с атмосферой через открытый клапан *4* регулятора избыточного давления. По истечении 1—2 *сек* анероид регулятора *3* избыточного давления расширяется из-за того, что давление в стаканчике через дюзу станет равным атмосферному и клапан *4* закроется. С этого момента в надмембранной полости прибора КП-52М и полости под компенсированным клапаном выдоха ГШ-6М будет формироваться избыточное давление вследствие подачи кислорода в указанные полости через клапан *9.* Величина избыточного давления будет определяться усилием прижатия клапана *4* к седлу под действием упругих сил анероида регулятора *3* избыточного давления в зависимости от высоты разгерметизации кабины самолета.

После создания избыточного давления кислорода мембрана *7* прогнется вниз и еще больше откроется клапан *2* подачи, а в результате перепада давления на поршне откроется клапан *1* подачи.

Клапан *1* подачи закроется по достижении равенства давлений с обеих сторон мембраны *7*. С этого момента кислородный прибор КП-52М перейдет на режим подачи кислорода с избыточным давлением.

Для обеспечения условия компенсации избыточного давления кислорода в легких человека в схеме предусмотрен регулятор *12* соотношения давлений. Конструктивно он состоит из клапана и  {149}  двух мембран с различной эффективной площадью. Клапан сообщает камеры натяжного устройства ВКК с подмембранной полостью прибора КП-52М. Этот клапан будет находиться в закрытом положении при условии равенства сил, действующих на его подвижную часть. Когда сила давления кислорода в натяжном устройстве ВКК, действующая на клапан в сторону открытия, будет

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-PoBElJ.png |
| **Рис. 5.16.** Внешний вид кислородного прибора КП-52М |

больше силы давления кислорода в приборе КП-52М, действующей на избыточную эффективную площадь мембран в сторону закрытия, то клапан откроется и произойдет сброс избыточного количества кислорода из натяжного устройства ВКК. В результате противодавление на теле летчика уменьшится, чем и обеспечится необходимое условие компенсации избыточного давления, т. е. противодавление на тело летчика всегда будет в соответствии с величиной избыточного давления кислорода в легких.

При возникновении повышенной утечки кислорода из камеры натяжного устройства ВКК вследствие нарушения герметичности костюма произойдет сброс давления из системы в результате открытия клапана *11.* В рассматриваемом случае величина избыточного давления кислорода в приборе КП-52М будет определяться жесткостью пружины клапана *11* сброса, которая обеспечивает минимально допустимое избыточное давление не менее 800 *мм вод. ст.*

Внешний вид кислородного прибора КП-52М показан на рис. 5.16, а его конструктивная схема показана на рис. 5.17.

**§ 5.4. Переносное кислородное оборудование**

Переносное кислородное оборудование используется при передвижении членов экипажа по самолету. К переносному кислородному оборудованию относятся переносной кислородный комплект (ПКК) и кислородная переносная арматура (КАП).

Комплект ПКК состоит из кислородного прибора КП-21, кислородного баллона КБ-3, маски КМ-19 и сумки для ношения комплекта.

**Кислородный прибор КП-21** (рис. 5.21). Он является прибором непрерывной подачи кислорода и предназначен для обеспечения кислородом одного человека при передвижении его по самолету на «высотах» в кабине до 8 *км.* Подача кислорода по высотам регулируется автоматически.

По конструкции и принципу работы прибор КП-21 аналогичен кислородному прибору КП-32 (рис. 5.1). Основой его также служат редуктор *3* (рис. 5.21) и регулятор *5* подачи кислорода, смонтированные на баллоне КБ-3. В редукторе *3* давление кислорода, поступающего из баллона *1*, понижается до 8 *ат*, а в регуляторе подачи под действием анероида *8* давление снижается до величины, обеспечивающей необходимую подачу кислорода в зависимости от высоты полета (табл. 5.1).

Редуктор и регулятор подачи с анероидом закрыты кожухом, из которого выступают маховичок аварийного вентиля *7* подачи кислорода и выходной штуцер *6* для присоединения шланга маски. Аварийный вентиль *7* служит для обеспечения подачи кислорода при отказе автоматического регулятора подачи.

Прибор КП-21 соединяется с баллоном посредством входного штуцера *11*. В корпусе входного штуцера помещены запорный вентиль, манометр *9* и зарядный штуцер *2*. Запорный вентиль *10* предотвращает утечку кислорода из баллона, когда прибором не пользуются. Зарядный штуцер служит для присоединения прибора к кислородной магистрали для зарядки баллона кислородом. Манометр показывает давление кислорода в баллоне. Предохранительный клапан *4* служит для сброса кислорода из надмембранной полости редуктора при повышении его давления до 12 *ат.*

Баллон КБ-3 изготовлен из двух полусферических чашек, отштампованных из листовой нержавеющей стали толщиной 1,2 *мм.* На каждом баллоне нанесена таблица с паспортными данными. Баллон окрашен голубой эмалевой краской.

Переносные комплекты хранятся в ложементах из пенопласта, вклеенных в спецкоробку, укрепленную на шпангоуте. Для быстрого снятия и устойчивости комплектов в полете, в ложементах имеются чашкообразные выемки по форме баллона.

Баллон КБ-3 с КП-21 помещается в сумку, которую можно носить через плечо на лямках, длина которых регулируется. Кроме того, сумка прикрепляется к туловищу поясом. К лямкам крепятся тесемки, которыми подвязывается прибор КП-21.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-pNH6j3.png |
| Рис. 5.21. Кислородный прибор КП-21 с баллоном КБ-3:  *1* — баллон; *2* — зарядный штуцер; *3* — редуктор: *4* — предохранительный клапан; *5* — регулятор подачи; *6* — выходной штуцер; *7* — аварийный вентиль: *8* — анероид: *9* — манометр; *10* — запорный вентиль; *11* — входной штуцер |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-zXZD5x.png | {160} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZiQFtv.png |

**Техническая характеристика ПКК**

|  |  |
| --- | --- |
| Прибор монтируется на баллоне емкостью...... | 8 или 1,8 *л* |
| Давление кислорода в баллоне........... . | От 30 до 6 *ат* |
| При полном запасе кислорода в баллоне и при его расходе 3—4 *л/мин* время пользования прибором . . | 10—15 *мин* |
| При полностью открытом вентиле аварийной подачи и максимальном расходе кислорода до 20 *л/мин* время пользования прибором сокращается..... | До 2 *мин* |
| Автоматическая подача кислорода по высотам при давлении на входе в прибор 15 *ат*......... | Характеризуется табл. 5.1 |
| Аварийная подача кислорода прибором ....... | От 6 до 20 *л/мин* |
| Вес прибора без баллона.............. | 1,5 *кГ* |
| Габариты прибора . ................. | 185×135×90 *мм* |

**Арматура КАП** (рис. 5.22). Она обеспечивает подачу кислорода в маску при передвижении членов экипажа по кабине (например, при работе штурмана с авиасекстантом) до высоты, на которую рассчитана применяемая кислородная маска с регулятором избыточного давления. Переключение со стационарного кислородного прибора на арматуру КАП и обратно на высотах более 12 *км* **не разрешается.**

В комплект КАП входят:

— гибкий удлиненный шланг *4* со штуцером и обратным клапаном;

— шланг-переходник *8* для подсоединения к маске удлиненных шлангов;

— пробка-заглушка *3* с вакуумным клапаном и цепочкой;

— тройник *6*;

— штуцер *5* с дюзой;

— сумка *9* для хранения комплекта КАП на самолете.

Комплект КАП нормально работает при давлении кислорода в кислородной магистрали от 8 до 12 *ат*; в этом случае подача кислорода через дюзу составляет 15—20 *л/мин.*

При пользовании одним шлангом питания КАП обеспечивает перемещение члена экипажа на расстояние до 2,5 *м.* При пользовании дополнительными шлангами расстояние возможного перемещения равно 2,5*n* (где *n* — количество дополнительных шлангов). Переключение питания кислородом от стационарного прибора КП-24М на КАП происходит без перерыва в питании кислородом. При отключении питания от КАП выход кислорода из шлангов питания автоматически прекращается вследствие закрытия обратных клапанов в байонетных замках шлангов.

Для перемещения по кабине свободный конец шланга *4* питания с помощью байонетного замка непосредственно или через шланг-переходник *8* присоединяется к штуцеру *10* регулятора давления маски РД-24. Затем отсоединяется линия питания кислородом от стационарного прибора КП-24М. Это осуществляется отсоединением шланга КШ-24 стационарного прибора от короткого шланга (0,25 *м*) парашютного прибора (в случае передвижения

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZOViYb.png |
| Рис. 5.22. Комплект переносной кислородной арматуры КАП:  *1* — кислородная маска; *2* — регулятор избыточного давления РД-24; *3* — пробка-заглушка с вакуумным клапаном; *4* — удлинительный шланг питания; *5* — штуцер с дюзой; *6* — тройник: *7* — бортовая кислородная система; *8* — шланг-переходник; *9* — сумка для хранения комплекта КАП; *10* — штуцер РД-24 |

с парашютом) или отсоединением длинного шланга (0,7 *м*) парашютного прибора от регулятора давления РД-24 (в случае передвижения без парашюта). При этом вместо отсоединенного шланга на штуцер короткого шланга парашютного прибора (в первом случае) или на штуцер РД-24 (во втором случае) ставится пробка-заглушка *3* с вакуумным клапаном.

Перед началом передвижения по кабине с парашютом следует отсоединить карабин разъединителя и парашютного прибора от цепочки. После отсоединения шланга от стационарного прибора до момента постановки заглушки перерыва в питании кислородом не происходит. Режим работы КАП в этом случае подобен режиму работы кислородного прибора с непрерывной подачей и маской открытого типа, т. е. во время вдоха кислород используется для дыхания, а во время выдоха выбрасывается в атмосферу через штуцер в месте отсоединения шланга.

После установки пробки-заглушки с вакуумным клапаном весь кислород непрерывным потоком поступает в маску и в системе поддерживается избыточное давление с помощью регулятора маски РД-24 в зависимости от высота полета.

При необходимости передвижения на расстояние, большее, чем позволяет один шланг питания, к штуцеру РД-24 присоединяется шланг-переходник *8*, к одному из штуцеров которого присоединяется шланг *4* питания.

При отсоединении шланга питания (или шланга-переходника) от штуцера РД-24 разъемные клапаны байонетного замка шланга и штуцера регулятора давления автоматически закрываются.

**Кислородные шланги перемещения (КШП).** Они обеспечивают подачу кислорода при передвижении членов экипажа по самолету (рис. 5.23).

На самолете имеются шланги КШП длиной 4 и 8 *м.* В походном положении шланги, свернутые в бухты, хранятся в сумках от масок КМ-19, подвешенных на специальные шипы. Против каждой сумки со шлангом перемещения в бортовой питающей магистрали имеется индикатор КП-32, к которому подсоединяется шланг КШП.

Конструкция и подключение шланга показаны на рис. 5.23. На одном конце шланга имеется байонетный замок *1*, а на другом - штуцер *3* с разъемным клапаном. Байонетным замком *1* шланг *2* подсоединяется к штуцеру ИК-32, открывая при этом разъемный клапан этого штуцера. В результате этого кислород поступает в шланг до штуцера *3* с разъемным клапаном на противоположном конце шланга, который закрывает выход кислорода из шланга.

Для перемещения по самолету во время полета без перерыва в кислородном питании необходимо отсоединить шланг *6* кислородной маски КМ-19 от комплекта прибора КП-32 (КП-56) и подсоединить его к штуцеру *3* шланга КШП. При этом обратный клапан штуцера шланга откроется и кислород начнет поступать в  {163}  маску. При перемещении по самолету на расстояние, большее, чем позволяет один шланг перемещения, необходимо переключиться на следующий шланг описанным выше способом и продолжать движение в нужном направлении.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-oD_yeT.png |
| **Рис.** 5.23. Кислородный шланг перемещения (КШП):  *1* — байонетный замок: *2* и *6* — шланги с разъемным клапаном; *4* — сумка: *5* — байонетный замок шланга маски КМ-19; *7* и *10* — ниппеля: *8* — пружина: *9* — замок: *11* — клапан: *12* — седло клапана: *13* — маска КМ-19: *14* — питающая кислородная магистраль коллективного пользования: *15* — индикатор кислорода ИК-32 |

# § 5.5. Контрольно-сигнальная аппаратура

Контрольно-сигнальная аппаратура предназначена для контроля за работоспособностью системы кислородного питания и ее элементов. Эта аппаратура включает манометры высокого и низкого давления в кислородных магистралях, манометры избыточного давления кислорода в маске (гермошлеме), индикаторы (сигнализаторы) подачи кислорода к дыхательным путям человека.

**Кислородный указатель ИК-18Н.** Он предназначен для контроля за подачей кислорода к дыхательным путям человека через кислородный прибор и измерения величины давления кислорода в основной магистрали.  {164}

Указатель ИК-18Н (рис. 5.24) состоит из двух самостоятельных приборов: манометра и индикатора кислорода, работающих независимо один от другого. Контроль за подачей кислорода к дыхательным путям человека осуществляется по движению флажков индикатора, а давление кислорода в основной магистрали — по показаниям стрелки манометра.

В верхней части корпуса прибора размещен кислородный манометр с диапазоном измерения от 0 до 150 *ат* (цена деления шкалы 10 *ат*). Максимальное значение шкалы манометра — 165 *ат.*

|  |  |
| --- | --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-xxs_ZA.png | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-SoHMrd.png |
| Рис. 5.24. Внешний вид кислородного указателя ИК-18Н | Рис. 5.25. Принципиальная схема манометра кислорода:  *1* — штуцер; *2* — трубка Бурдона; *3* — трибка; *4* — стрелка: *5* — тяга: *6* — сектор |

В нижней части корпуса прибора размещен механизм индикатора. При вдохе лепестки индикатора расходятся и окна открываются. В момент выдоха лепестки возвращаются пружиной в исходное положение. При вдохе и выдохе лепестки индикатора синхронно периодически сходятся и расходятся. При постоянном потоке кислорода лепестки индикатора расходятся и окна остаются открытыми.

Деления шкалы, цифры, стрелка и лепестки покрыты белой краской.

Принцип действия манометра кислорода (рис. 5.25) основан на использовании упругих свойств трубчатой пружины (трубки Бурдона) при возникновении в ее внутренней полости давления. Деформация трубки Бурдона *2* при изменении в ней давления вызывает перемещение ее свободного конца, которое с помощью тяги *5* передается на зубчатый сектор *6* и преобразуется во вращение трибки *3* со стрелкой.

Принцип действия индикатора кислорода (рис. 5.26) основан на использовании упругих свойств чувствительной гофрированной  {165}  мембраны *3* при воздействии на нее давления кислорода, подаваемого через кислородный прибор к дыхательным путям человека. Деформация мембраны *3* вызывает перемещение жесткого центра *1*, которое с помощью оси *5* и поводков *7* передается на флажки *8*, видимые в окна циферблата *9*. При отсутствии давления на мембрану флажки под действием пружинки *10* полностью закрывают окно циферблата; при воздействии давления кислорода на

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-YskLh5.png |
| Рис. 5.26. Принципиальная схема индикатора кислорода:  *1* — жесткий центр манометрической коробки; *2* — резиновое кольцо; *3* — гофрированная мембрана; *4* — штуцер; *5* — ось; *6* — верхняя защита; *7* — поводки; *8* — флажки; *9* — циферблат; *10* — пружинка |

мембрану флажки расходятся и выходят за пределы окон циферблата.

Кроме ИК-18Н, используются кислородные указатели ИК-24Н, ИК-52, ИК-64. Принцип действия и устройство этих указателей аналогичны ИК-18Н. Рабочий диапазон ИК-24Н и ИК-64 от 0 до 16 *ат* (максимальное значение шкалы — 18 *ат*), диапазон измерения ИК-52 такой же, как и у прибора ИК-18Н.

**Кислородные манометры.** Применяются манометры кислорода следующих типов: МК-12М, МК-13М, МК-18, МК-6 и др.

Манометр МК-12М предназначен для контроля за запасом кислорода в бортовых кислородных баллонах с рабочим давлением до 150 *ат.*  {166}

Манометр МК-13М предназначен для контроля за запасом кислорода в бортовых самолетных баллонах с рабочим давлением до 30 *ат.*

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-fhE6H2.png |
| **Рис. 5.27.** Индикатор кислорода ИК-32:  *1* — входной штуцер; *2* — дюза; *3*, *6* — отверстия; *4* — стакан; *5* — поплавок; *7* — выходной штуцер: *8* — обратный клапан |

Манометр МК-18 служит для контроля за давлением в самолетных системах, работающих от кислородных газификаторов. Он рассчитан на рабочее давление не выше 10 *ат.*

Манометр МК-6 контролирует давление кислорода в магистралях непрерывной подачи кислорода к дыхательным путям человека. Максимальное давление по шкале 6 *ат.*

**Индикатор кислорода ИК-32** (рис. 5.27). Он служит для сигнализации поступления кислорода из кислородного прибора непрерывной подачи в маску.

Работа индикатора кислорода основана на использовании динамического напора струи кислорода, проходящего через индикатор. Кислород поступает через штуцер *1* с дюзой *2* в стакан *4*, выполненный из органического стекла. Поднимаясь вверх по стакану *4*, поток кислорода увлекает за собой поплавок *5*. Далее кислород через отверстие *6* проходит вниз к выходному штуцеру *7* индикатора. В выходном штуцере смонтирован обратный клапан *8*, предотвращающий утечку кислорода при отключении маски. При включении маски обратный клапан *8* отодвигается от седла ниппелем замка маски и пропускает кислород в маску. Во время пользования кислородом поплавок *5* все время находится в верхнем положении, что является показателем наличия потока кислорода.

Подача кислорода через индикатор ИК-32 составляет 2,5±0,1 *л/мин* при давлении из входе 1 *ат.* Поплавок индикатора  {167}  поднимается при давлении на входе не более 1600 *мм вод. ст.* и свободно опускается при отсутствии давления.

Индикатор потока кислорода, применяемый в комплекте кислородного оборудования (ККО ПДР) транспортного самолета, изображен на рис. 5.28.

При наличии потока поплавок перемещается в канале стакана. Пружина предусмотрена для возврата поплавка в исходное положение при прекращении потока кислорода. Индикатор реагирует как на непрерывную, так и на легочно-автоматическую подачу кислорода.

В комплекте кислородного оборудования с прибором КП-52 подача кислорода регулятором РПК в кислородный прибор прерывной подачи контролируется указателем кислорода ИК-52 (для

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-VBiImc.png |
| Рис. 5.28. Индикатор потока кислорода в системе ККО-ПДР:  *1*, *6* — ниппеля; *2* — упор; *3* — стакан; *4* — поплавок; *5* — пружина |

систем низкого давления ИК-64). В связи с тем что индикатор прибора ИК-52 подсоединяется к выходной магистрали РПК, в момент вдоха давление в этой магистрали понижается и створки указателя кислорода закрываются. В момент выдоха давление кислорода повышается, створки расходятся, сигнализируя о поступлении в магистраль кислорода.

**Манометр избыточного давления кислорода М-1000.** Он служит для измерения давления кислорода в кислородной маске при полетах на высотах более 12 *км* с кислородным прибором КП-24М. Принцип действия манометра основан на использовании упругих свойств мембранных коробок (рис. 5.29).

Чувствительным элементом прибора является мембранная коробка *1*, нижний центр которой крепится к основанию. Линейное перемещение подвижного центра мембранной коробки через тягу *3* и поводок *4* преобразуется во вращательное движение оси *5.* На оси закреплен сектор *6*, передающий вращательное движение трибке *9*, на оси которой закреплена стрелка *7*. Для устранения люфтов в механизме на оси стрелки смонтирован упругий волосок. Для предохранения механизма прибора от предельного давления на манометрическую коробку поставлен упор *2.* Прибор имеет оцифровку от 0 до 1000 *мм вод. ст.* с ценой деления 50 *мм вод. ст.* Для отсчета по прибору необходимо деления 0; 2; 4; 6; 8; 10 умножить на 100 (на шкале имеется надпись «×100»).  {168}

Деления шкалы, стрелка и цифры покрыты белой краской (светомассой).

**Манометр избыточного давления М-2000.** Он предназначен для контроля за величиной избыточного давления, создаваемого

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-CfTBy4.png |
| **Рис. 5.29.** Манометр избыточного давления кислорода:  *1* — мембранная коробка; *2* — упор; *3* — тяга: *4* — поводок; *5* — ось: *6* — сектор; *7* — стрелка; *8* — циферблат; *9* — трибка; *10* — упругий волосок |

комплектом ККО, в системе дыхания. Принцип действия прибора аналогичен принципу действия манометра М-1000.

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Bc6BwY.png |
| Рис. 5.30. Внешний вид манометра избыточного давления М-2000  **§ 5.7. Самолетные кислородные баллоны**  Самолетные кислородные баллоны предназначены для обеспечения высотных полетов необходимым запасом газообразного медицинского кислорода. Наибольшее применение на самолетах нашли баллоны емкостью 2 и 4 *л*, так как они обеспечивают лучшую живучесть кислородной системы и более удобны для размещения на самолетах.  Выбор рабочего давления в самолетных баллонах обусловлен их весовыми и объемными характеристиками. Зависимость весовых и объемных показателей баллонов от рабочего давления в них приведена на рис. 5.40. Очевидно, что для получения оптимальных объемно-весовых соотношений для кислородных баллонов необходимо иметь давление в них на уровне 520—540 *ат.* Однако такие величины давлений в бортовых баллонах могут вызвать в боевой  {177}  обстановке взрывные эффекты, опасные для прочности конструкции самолета.  По этим соображениям рабочее давление в кислородных баллонах выбирается либо 150—200 *ат* (баллоны высокого давления),   |  | | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-97kodu.png | | Рис. 5.40. Зависимость весовых и объемных показателей баллонов от давления |   либо 30 *ат* (баллоны низкого давления). Наибольшее применение нашли самолетные баллоны с рабочим давлением 150 *ат.*  По форме бортовые баллоны подразделяются на цилиндрические (тип А), сферические секционные (тип КБШ — кислородные   |  | | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-hknAr3.jpg | | Рис. 5.41. Внешний вид шарового кислородного баллона |   баллоны шаровые) и батареи цилиндрических баллончиков. Наибольшее распространение в качестве бортовых стационарных баллонов получили шаровые баллоны (рис. 5.41), а в качестве аварийных — батареи цилиндрических баллончиков, используемые в парашютных кислородных приборах. Цилиндрические баллоны  {178}  используются в переносных кислородных приборах на транспортных самолетах.  Шаровая форма баллонов оказалась наиболее эффективной. Шаровидные баллоны, выполненные в виде сообщающихся сосудов, в отличие от баллонов цилиндрической формы не подвержены взрывному эффекту, кроме того, они легче цилиндрических баллонов (табл. 5.4).  Таблица 5.4   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Тип баллона | Давление, *ат* | Наружный диаметр, *мм* | Вес баллона, *кГ* | | Шаровой: емкостью 1 л........... | 150 | — | 1,3 | | емкостью 4 л.......... | 150 | 139 | 3,2 | | емкостью 8 л.......... | 150 | 177 | 7,9 | | Цилиндрический: | 150 | 140 | 4,9 | | емкостью *8 л*.......... | 150 | 140 | 9,0 |   Для уменьшения веса самолетных баллонов применяются соответствующие высокопрочные материалы. Цилиндрические и шаровые баллоны изготавливаются из специальной стали — хром-ансиль, а батареи цилиндрических баллончиков для парашютных кислородных приборов — из мельхиора. Баллоны с рабочим давлением 30 *ат* изготавливаются из нержавеющей хромоникелевой стали.  Самолетные кислородные баллоны имеют специальную маркировку. Например, А-2 обозначает, что баллон цилиндрической формы водяной емкостью 2 *л*; КБШ-4 — кислородный баллон шаровой формы водяной емкостью 4 *л*. Каждый шаровой баллон имеет форму трех последовательно соединенных шаров.  Самолетные тонкостенные баллоны водяной емкостью 36; 7,6 и 1,8 *л* заполняются газообразным кислородом до давления 30 *ат* и обозначаются соответственно КБ-1, КБ-2 и КБ-3.  В горловину баллона, имеющую коническую резьбу, ввертывается на свинцовом глете баллонный тройник или вентиль (рис. 5.42).  После изготовления, а также при периодических проверках инспекцией Котлонадзора баллоны подвергаются гидравлическому испытанию на прочность давлением, в полтора раза превышающим рабочее давление.  По окончании испытаний на баллонах около горловины или около расходно-наполнительного штуцера ставится клеймо. Клеймо является паспортом баллона и обозначает: тип баллона, порядковый номер баллона, емкость в литрах, вес, пробное гидравлическое давление, рабочее давление, дату изготовления и следующего испытания. Кроме того, выбивается клеймо завода-изготовителя,  {179}  ОТК завода и инспекции Котлонадзора. Поверхность баллона, где выбито клеймо, покрывается бесцветным лаком и обводится белилами.  **Запрещается** наполнять кислородом и использовать баллоны, у которых истек срок периодического освидетельствования, не имеется установленных клейм, неисправны вентили, поврежден   |  | | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WCAxpe.png | | **Рис. 5.42.** Баллонный тройник:  *1* — фильтр; *2* — клапан: *3* — баллон |   корпус (трещины, сильная коррозия, нарушение формы баллона), окраска и надпись не соответствуют требованиям.  **Глава 6**  **СИСТЕМЫ КИСЛОРОДНОГО ПИТАНИЯ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОТ ПОЛЕТА ДО 12 *км***  **§ 6.1. Общая характеристика системы кислородного питания коллективного пользования**  Комплект кислородного оборудования коллективного пользования предназначен для одновременного обеспечения кислородом 20 пассажиров, десантников и раненых при полетах на высотах до 12 *км.* Комплект может устанавливаться на военно-транспортных и пассажирских самолетах. В этом комплекте могут использоваться кислородные приборы непрерывной и прерывной подачи кислорода без избыточного давления. Во избежание наступления кислородного голодания при увеличении высоты полета приборы непрерывной подачи автоматически увеличивают подачу кислорода, а приборы прерывной подачи обеспечивают обогащение вдыхаемой смеси кислородом вследствие работы автомата подсоса воздуха.  Системы непрерывной подачи используются в основном для питания кислородом через маски открытого типа, так как пассажиры и раненые, как правило, не имеют личных, заранее подогнанных к лицу кислородных масок закрытого типа.  Системы прерывной подачи используются для питания кислородом десантников, которые имеют в своем личном снаряжении кислородные маски закрытого типа (КМ-16Н).  Кислородные приборы прерывной или непрерывной подачи кислорода могут работать в системе низкого давления (8—10 *ат* при использовании на борту самолета газификаторов и 30 *ат* при использовании баллонов) и в системе высокого давления (150 *ат*). Основной системой кислородного питания на военно-транспортном самолете, как правило, является система низкого давления (8—10 *ат*).  В комплектах кислородного оборудования коллективного пользования применяются кислородные приборы непрерывной подачи КП-32 и КП-56 и приборы прерывной подачи КП-58. Экипаж  {191}  самолета питается кислородом от индивидуальных кислородных приборов КП-24М.  На рисунке 6.1 представлена схема комплекта системы кислородного питания КП-32 при работе от баллонов высокого давления (150 *ат*). В комплект входят кислородный прибор КП-32, маска КМ-19, индикатор кислородного потока ИК-32, кислородный редуктор КР-17, понижающий давление со 150 до 30 *ат*, приборные вентили КВ-2МС, манометр на 10 *ат*, кислородные баллоны и бортовая арматура.   |  | | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Y81xCc.png | | Рис. 6.1. Схема комплекта системы кислородного питания КП-32:  *1* — зарядный штуцер; *2* — баллонный вентиль; *3* — кислородный баллон; *4* — приборный вентиль KB-2MC; *5* — кислородный редуктор КР-17; *6* — кислородный прибор КП-32; *7* — манометр на 10 *ат*; *8* — индикаторы кислородного потока ИК-32; *9* — кислородные маски КМ-19 |   Преимуществом данной системы является надежность в работе, простота устройства и эксплуатации, малый вес и габариты, возможность группового использования, кроме того, не требуется индивидуальной подгонки маски, что очень важно при массовой транспортировке пассажиров и раненых. К недостаткам системы относятся неэкономичный расход кислорода и отсутствие необходимой органической связи между потребной легочной вентиляцией и фактическим расходом кислорода.  На рисунке 6.2 представлена схема комплекта кислородного оборудования ККО-ПДР при питании от магистрали высокого давления (150 *ат*). В комплект входят кислородные приборы КП-56 и КП-58, маски КМ-19 (КМ-15М) и КМ-16Н, индикатор кислородного потока (ИП), кислородные редукторы КР-17, КР-56 и КР-58 (последний понижает давление кислорода с 30 до 8—12 *ат)*, приборные вентили КВ-2МС, манометр на 6 *ат*, индивидуальные точки (ИТ) кислородного питания, парашютный прибор КП-43. Как видно из рис. 6.2, к индивидуальным точкам кислородного питания можно подсоединить через индикатор потока кислородную маску   |  |  |  | | --- | --- | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-pdU2sT.png | {192} | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ov0XJ2.png |   https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-05XhwP.png  **Рис. 6.4.** Принципиальная схема комплекта кислородного оборудования ККО-ПДР:  *1* — кислородная маска КМ-16Н: *2* — кислородный прибор КП-58; (*2'* — клапан малой подачи; *2''* — клапан большой подачи; *2'''* — клапан подсоса воздуха); *3* — переключатель парашютного кислородного прибора (*3'* — фал; *3''* — толкатель; *3'''* — тяга: *3*1 — клапан: *3*2 — прокладка; (*5*3 — втулка; *5*4 — клапан): *4* — индивидуальная точка кислородного питания ИТ; *5* — индикатор кислородного потока: *6* — кислородная маска КМ-19: *7* — манометр кислорода; *8* — индивидуальная точка кислородного питания ИТ-2 (*8'* — дюза; *8''* — клапан: *8'''* — клапан большой подачи кислорода); *9* — кислородный прибор КП-56 (*9'* — мембрана: *9''* — клапан подачи кислорода): *10* — аварийный регулятор подачи кислорода вручную (*10'* — пружина: *10''* — мембрана: *10'''* — клапан подачи): *11* — манометр: *12* — приборный вентиль  https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-Yj51kx.png  открытого типа (КМ-19) либо через кислородный прибор КП-58 — маску закрытого типа (КМ-16Н). В первом случае будет осуществляться непрерывная подача кислорода, во втором — прерывная в зависимости от частоты и глубины дыхания человека. Комплект кислородного оборудования с прибором КП-58 позволяет значительно экономнее расходовать кислород при нахождении на борту самолета десантников по сравнению с системой КП-32.   |  | | --- | | https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-WGMHqY.png | | Рис. 6.2. Схема комплекта системы кислородного питания ККО-ПДР:  *1* — зарядный штуцер; *2* — вентиль кислородный KB-2MC: *3* — кислородный баллон; *4* — редуктор кислородный КР-17; *5* — редуктор кислородный КР-58; *6* — аварийный редуктор кислородный КР-56; *7* — кислородный прибор КП-56; *8* — манометр кислородный МК-6; *9* — индивидуальные точки кислородного питания; *10* — парашютный прибор КП-43; *11* — кислородный прибор КП-58; *12* — кислородная маска КМ-16Н и КМ-15И; *13* — индикатор кислородного потока |   При питании от магистрали с давлением 30 *ат* схемы комплектов (рис. 6.1 и 6.2) упрощаются: отсутствует редуктор КР-17, а вместо вентилей КВ-2МС используются вентили КВ-5.  При давлении в системе 8—10 *ат* (при использовании в качестве источников кислорода газификаторов), кроме редуктора КР-17, в комплекте отсутствует редуктор КР-58.  В зависимости от назначения и характера предстоящего полета кислородная система коллективного пользования в грузовой кабине самолета может комплектоваться в различных вариантах. Для этой цели используются стационарные и съемные газификаторы и магистрали низкого давления кислорода.  {193}  Для различных вариантов загрузки самолета имеются съемные магистрали питания десантников, магистрали питания раненых на санитарных стойках и магистрали заправки съемных КПЖ-30А. |

Шкала прибора отградуирована от 0 до 20 с оцифровкой через два деления, что соответствует показаниям прибора от 0 до 2000 *мм вод. ст.* Внешний вид прибора М-2000 показан на рис. 5.30.

**6.2. Принципиальная схема комплекта кп-32**

Принципиальная схема комплекта при работе в системе низкого (30 *ат*) и высокого (150 *ат*) давления кислорода приведена

|  |
| --- |
| https://studfile.net/html/19115/104/html_8AH8tZPcKk.tyfk/img-ZM6j4u.png |
| **Рис. 6.3.** Принципиальная схема комплекта КП-32:  *1*, *21*, *24* — зарядные штуцера; *2*, *6*, *9* — толкатели; *3*, *7* — клапаны; *4*, *13*, *14* — пружины: *5* — предохранительный клапан; *8*, *15* — мембраны; *10* — аварийный регулятор подачи; *11* — рычаг; *12* — шток; *16* — манометр на 10 *ат*; *17* — кислородная маска КМ-19; *18* — индикатор кислородного потока ИК-32; *19* — кислородный редуктор КР-15; *20* — баллонный вентиль KB-5; *22* — кислородный баллон низкого давления на 30 *ат*; *23* — приборный вентиль KB-5; *25* — баллонный вентиль KB-2MC; *26* — кислородный баллон высокого давления (150 *ат*); *27* — кислородный редуктор КР-17; *28* — зарядный шланг; *29* — приборный вентиль КВ-2МС |

на рис. 6.3. Комплект прибора КП-32 работает следующим образом. При открытом приборном вентиле *23* (система низкого давления) или *29* (система высокого давления) кислород поступает в прибор КП-32. Работа кислородного прибора КП-32 рассмотрена подробно в § 5.1. Из кислородного прибора кислород поступает в питающую магистраль, в которой установлено 20 индикаторов ИК-32 и манометр на 10/6 ат, предназначенный для контроля за нормальной работой прибора в полете. К индикаторам ИК-32 присоединяются кислородные маски КМ-19. С «высоты» в кабине 2 *км*  {194}  кислородный прибор КП-32 начинает подавать кислород в питающую магистраль. При присоединенной к индикатору ИК-32 кислородной маске осуществляется непрерывная подача в нее кислорода в количестве, зависящем от «высоты» в кабине.

Зарядка бортовой системы кислородом осуществляется через зарядный штуцер *21* или *24.* Кислородный редуктор КР-15 устанавливается при наличии на самолете баллонов с давлением не более 30 *ат* и служит для понижения давления кислорода при зарядке, если зарядка производится из баллонов с давлением кислорода 150 *ат.*

В комплекте кислородной системы КП-32 имеется зарядный штуцер *1*, через который производится зарядка переносных кислородных баллонов.

Краткая техническая характеристика комплекта КП-32:

1. Прибор нормально работает при подводимом к нему давлении от 30 до 6 *ат* или от 150 до 30 *ат* (через редуктор КР-17).

2. Прибор герметичен при давлении на входе 30 *ат.* Подача кислорода через индикатор составляет 2,5±1 *л/мин* при давлении на входе 1 *ат* и температуре +20±5°С.

3. Соединение байонетного замка шланга маски с выходным штуцером индикатора герметично при давлении на входе в индикатор 1000 *мм вод. ст.* Допускается утечка не более 50 *см*3/*мин.*

4. Индикатор герметичен в интервале температур от —50 до +50°С при относительной влажности воздуха 95—98% и температуре окружающего воздуха +20±5°С.

**§ 6.3. Принципиальная схема комплекта кислородного оборудования кко-пдр**

Комплект ККО-ПДР предназначен для одновременного обеспечения кислородом 20 пассажиров, десантников и раненых следующих условиях:

1. Способом непрерывной подачи кислорода при пользовании масками открытого типа КМ-15И и кислородными приборами КП-56: длительно — при полетах в разгерметизированной кабине на высотах до 8 *км*, в загерметизированной — до 12 *км*; кратковременно — для снижения до безопасной высоты при разгерметизации кабины на высотах от 8 до 12 *км.*

2. Способом прерывной подачи кислорода при пользовании масками закрытого типа КМ-16Н и кислородными приборами КП-58 при полетах в загерметизированной и разгерметизированной кабинах на высотах до 12 *км* и при покидании самолета с парашютом на этих высотах с автоматическим или ручным переключением на питание кислородом от парашютного прибора КП-43.

Комплект предусматривает также питание кислородом человека при его перемещении по самолету от переносной кислородной арматуры.  {195}

В комплект входят (шт.):

|  |  |
| --- | --- |
| Кислородный прибор КП-56 ...... | 1 |
| Кислородный прибор КП-58...... | 20 |
| Индивидуальная точка питания ИТ . . | 20 |
| Индивидуальная точка питания ИТ-2 . | 20 |
| Кислородный редуктор КР-56..... | 1 |
| Кислородный редуктор КР-58..... | 1 |
| Кислородный редуктор КР-15..... | 1 |
| Кислородная маска КМ-15И...... | 20 |
| Кислородная маска КМ-16Н...... | 20 |
| Манометр кислородный МК-6..... | 1 |
| Манометр кислородный МК-12М .... | 1 |
| Манометр кислородный МК-13М . . . | 2 |
| Манометр кислородный МК-18 .... | 1 |
| Кислородный вентиль КВ-5...... | 2 |
| Кислородный вентиль КВ-2МС .... | 2 |
| Кислородная арматура бортовая КАБ-14 | 1 компл. |
| Кислородная арматура бортовая КАБ-16 | 1 компл. |
| Парашютный кислородный прибор КП-43 | 20 |
| Кислородный шланг КШ-56...... | 20 |

На самолете может быть установлено несколько таких комплектов в зависимости от назначения и типа самолета.

Принципиальная схема комплекта кислородного оборудования с приборами КП-56 и КП-58 приведена на рис. 6.4. Работа основных элементов схемы — кислородных приборов КП-56 и КП-58 — подробно описана в § 5.1 и 5.3.

**Работа комплекта при обеспечении человека кислородом способом непрерывной подачи** (рис. 6.4). Комплект работает следующим образом. Через приборный вентиль *12* кислород давлением 10 *ат* подводится к кислородному прибору КП-56 и редуктору КР-56. Кислородный прибор КП-56 включается в работу в диапазоне высот от 2 до 4 *км.* Давление кислорода в магистрали после кислородного прибора контролируется по манометру *7*, а давление до прибора — по манометру 11.

Кислород от прибора подводится к 20 индивидуальным точкам кислородного питания ИТ (*4*) или ИТ-2 (*8*). В отличие от точки ИТ точка ИТ-2 имеет ручку дополнительной подачи кислорода, при включении которой величина подачи увеличивается в два раза. Обычно точка питания ИТ-2 располагается на рабочем месте, где десантник или пассажир выполняет физическую работу или где размещается раненый, требующий повышенной подачи кислорода.

В точках питания кислород, пройдя дюзы *8'*, поступает под клапаны *8''*, *8'''.* При подключении маски клапан *8''* открывается и кислород по шлангу через индикатор *5* идет в маску непрерывным потоком. Для увеличения подачи кислорода в маску нужно ручку точки питания ИТ-2 поставить в положение «Вкл.». При этом клапан *8'''*; отойдет от седла и на дыхание пойдет удвоенное количество кислорода.  {196}

При отсоединении маски клапан *8''* прижимается к седлу пружиной, а также давлением кислорода. Расход кислорода через точку питания прекращается.

На случай отказа прибора КП-56 в комплекте предусмотрен регулятор *10* КР-56, с помощью которого можно создать необходимое давление в полости *В* прибора КП-56 и перед дюзами точек питания, а следовательно, и необходимую подачу кислорода.

Регулятор КР-56 работает следующим образом. При вращении маховичка регулятора против часовой стрелки пружина *10'* сжимается и передает свое усилие через опору на мембрану *10''.* Мембрана под действием этого усилия нажимает на толкатель клапана *10'''*, открывает клапан *10'''*, и кислород поступает в подмембранную полость редуктора и затем в полость *В* прибора. Давление кислорода в полости *В* прогибает мембрану *9'* и через рычаг и толкатель открывает клапан *9''*, обеспечивая доступ кислорода к точкам питания. Чем больше давление будет создано с помощью регулятора КР-56, тем большее давление установится перед дюзами точек питания и тем больше кислорода пойдет на дыхание. Величина давления, создаваемого регулятором КР-56 в магистрали, так же как и при автоматической работе прибора КП-56, контролируется по манометру *7*.

**Работа комплекта при обеспечении человека кислородом способом прерывной подачи** (рис. 6.4). Для осуществления питания кислородом способом прерывной подачи к точке питания ИТ или ИТ-2 подсоединяется кислородный шланг КП-56, к которому в свою очередь (либо непосредственно, либо через парашютный прибор КП-43) подсоединяется кислородный прибор КП-58 с присоединенной к нему маской закрытого типа КМ-16Н.

Работа прибора КП-56, точек питания и редуктора КР-56 остается такой же, как и в схеме обеспечения человека кислородом способом автоматической подачи. До «высоты» в кабине 2—4 *км* для дыхания подается только воздух кабины, поступающий через клапан подсоса воздуха *2'''* прибора КП-58. В этом случае клапан *2'* прибора КП-58 открыт, а клапан *2''* закрыт.

При увеличении «высоты» в кабине прибор КП-56 вступает в работу и кислород по каналам подается к прибору КП-58 в его подмембранную полость и далее в маску. В маске, герметично надетой на лицо, создается малое избыточное давление (30—40 *мм вод. ст.*), поддерживаемое клапаном выдоха маски. Описание работы прибора КП-58 приведено в § 5.3.

Процесс обеспечения кислородом при покидании самолета с парашютом и с прибором КП-58 рассмотрен в § 9.2.

Краткая техническая характеристика комплекта с приборами КП-56 и КП-58:

1. Прибор КП-56 и регулятор КР-56 работают при подведении к ним кислорода давлением 12—6 *ат.*

2. Подача кислорода через точки питания при давлении на входе 3 *ат* — 8 *л/мин.*  {197}

3. Сопротивление прибора КП-58 входу при легочной вентиляции 30 *л/мин* и температуре +20±5°С не превышает 65 *мм вод.ст.*

4. Давление, при котором срабатывает механизм автомата подсоса воздуха, на входе в прибор — в пределах 0,7—1 *ат* при температуре 20±5°С.

5. Вес прибора КП-56 — 980 *Г*, прибора КП-58 — 390 *Г*, регулятора КР-56 — 400 *Г.*

6. Комплект работает в интервале температур от +60 до –50°С пр