

Задача №1. Лучше гор могут быть только горы. Низкое парциальное давление кислорода в горах вызывает гипоксическую гипоксию. Кислородное голодание организма негативно влияет на состояние альпинистов, военных, строителей, которые работают на высотах выше 2000 метров. Основным методом профилактики гипоксии является акклиматизация, однако, этот процесс продолжительный и сложный. Предложите простой, безопасный метод борьбы с гипоксией.

1. Введение. Парциальное давление кислорода (то есть его давление в составе газовой смеси – воздуха, если бы кислород занимал весь его объём) является важной характеристикой вдыхаемого воздуха. На основании физиологических исследований установлена взаимосвязь между парциальным давлением кислорода $p(O_2)$ в легких с давлением воздуха p и процентным содержанием кислорода в воздухе $\varphi(O_2)$:

$$p(O_2) = \varphi(O_2) \cdot \frac{(p - 47)}{100}$$

В этой формуле 47 мм рт. ст. соответствуют парциальному давлению водяных паров в легких человека [1].

Для нормальной жизнедеятельности человеческого организма необходимо определенное парциальное давление $p(O_2)$. При фиксированной концентрации $\varphi(O_2)$ парциальное давление кислорода падает с падением общего давления воздуха, что приводит живые организмы, находящиеся в условиях пониженного давления к гипоксической гипоксии.

Это является большой преградой в деятельности людей, работающих на высотах более 2000 метров: альпинистов, военных или строителей. В большей части случаев их занятость вовлекает в себя тяжёлый физический труд, что как усугубляет возможные последствия нехватки кислорода, так и накладывает на возможные решения этой проблемы определённые условия: метод борьбы должен быть **безопасным, простым и не ограничивающим физические способности и свободу передвижения человека.**

Поскольку подъём на высоты выше 10 км сопряжён с резкими изменениями парциального давления кислорода, а также с изменениями других показателей окружающей среды, в частности, температуры, дозы облучения и пр., которые также оказывают негативное влияние на организм и требуют особых мер по предотвращению развития патологических состояний, в частности, специальной одежды, ограничимся рассмотрением ситуации при подъеме на высоту до 10 км и поиском мер по предотвращению развития симптомов высотной гипоксии.

2. Два пути решения проблемы. Для того чтобы сохранить давление кислорода на нужном уровне, необходимо либо поднимать его парциальное давление во вдыхаемом воздухе, либо повышать его «усваиваемость».

Второму пути соответствуют традиционные меры по предотвращению возникновения гипоксии – общая физическая подготовка, направленная на развитие выносливости, тренировки в барокамере, акклиматизация за счет медленного подъема [2], прием препаратов, усиливающих периферическое кровообращение (например, «Диакарб»). К сожалению, большинство из этих мероприятий либо требует времени, либо не всегда эффективно, либо просто снимает синдромы гипоксии. Наша же команда считает перспективным и легко реализуемым первый: вероятным выходом из ситуации является использование оборудования, вроде того, которым пользуются дайверы при погружении под воду.

Данное предложение естественно вытекает из очевидного сходства окружающей среды под водой и в горах: невозможности нормального дыхания человека.

3. Реалии: гравитация. Впрочем, есть и существенное различие: в водной среде выталкивающая сила Архимеда настолько же значительна, как и гравитация, и поэтому снаряжение дайвера может включать в себя элементы с большой массой. Для альпиниста или строителя же, выполняющего тяжёлую физическую работу, масса снаряжения является крайне критичным параметром.

Возможным решением этой проблемы является использование в качестве источника кислорода не сжатого воздуха, который используется в аппаратах SKUBA для дайверов или кислородных альпинистских системах и хранится под давлением в толстостенных тяжелых баллонах, а сжиженного, агрегатное состояние которого может поддерживать сосуд Дьюара с экранно-вакуумной термоизоляцией [4]. Подобная технология разрабатывалась в СССР в 1960-1980 гг. для дайверов и называлась «криоланг», однако не получила широкого распространения [3].

4. Криоланг. Итак, наша команда предлагает использовать следующую систему подачи кислорода альпинисту (Рис. 1). Резервуар **1**, запаасающий сжиженный воздух, представляет собой двустенный алюминиевый (выбор металла определяется его небольшой плотностью) баллон, у которого из пространства между стенками выкачан воздух (очевидно, что в вакууме слабо возможна конвекция или теплопроводность, а потери на излучение в сосуде Дьюара уменьшаются за счёт полировки внутренней поверхности колбы).

Внутри резервуара находится мембрана **2** из цеолита с диаметром пор 6-10 нм (в «криоланге» использовался пористый никель [3], однако, использование цеолита удешевит производство), которая разделяет

газообразную и жидкую фазы воздуха. Это необходимо ввиду того, что у азота температура кипения ниже, чем у кислорода; из-за этого при неизбежном повышении температуры смеси в баллоне образуется газ с очень низкой концентрацией кислорода (порядка 7% [3]), непригодный для дыхания. В принципе, возможно и просто использование патрубка, забирающего жидкий кислород со дна баллона, но в таком случае он будет очень восприимчив к переворачиванию.

Воздух подается через систему теплообмена **5**, где он нагревается до нужной температуры и изменяет своё давление, в автоматический клапан **3**. Для поддержания рабочего давления в баллоне может быть осуществлён теплообмен через систему теплообмена **6** (в таком случае будет нагреваться и, соответственно, увеличиваться в давлении и основная часть воздуха), или же для его уменьшения часть газа может быть стравлена через клапан **4**, через который происходит заправка баллона.

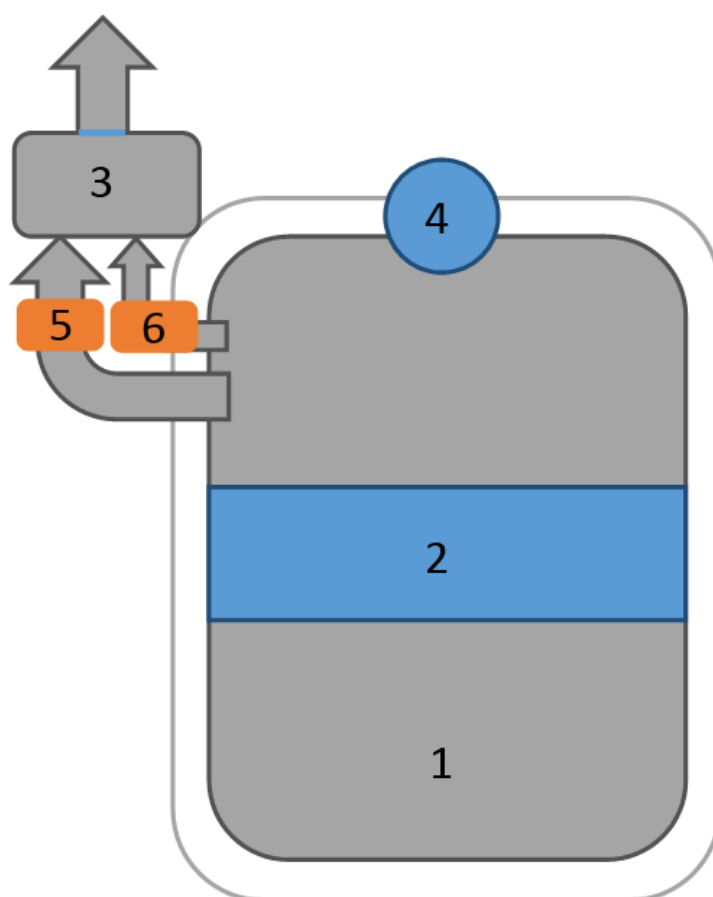


Рис. 1. Схема предложенного аппарата. 1 – баллон со сжиженным воздухом. 2 – мембрана. 3 – автоматический клапан. 4 – отверстие для заполнения баллона, 5,6 – системы теплообмена баллона.

4. Особенности, плюсы и минусы использования криолангов

В целом, по принципу действия предлагаемое решение мало отличается от уже существующих альпинистских систем вроде кислородного оборудования «ПОИСК». Однако оно имеет ряд несомненных преимуществ над методами, использующими сжатый воздух вместо сжиженного:

- Небольшая масса сосуда с воздухом
- Небольшие рабочие давления баллона порядка 10-12 атм [3] и, соответственно, более высокая в сравнении с сжатым воздухом безопасность транспортировки.
- Большой запас воздуха, по сравнению с резервуарами, использующими сжатый воздух (1 л жидкого воздуха переходит в примерно 800 л газообразного), и, соответственно, в два раза большее время работы в сравнении с обыкновенными кислородными баллонами.
- Большая экономическая доступность сжиженного воздуха, чем сжатого [3]

Недостатком данного решения является ограниченный объем запасаемого воздуха и невозможность длительного хранения смеси в сосудах Дьюара (порядка нескольких суток). Возможным решением является установка стационарных ожижителей в местах долгих строительных работ или военных лагерей (для базовых альпинистских лагерей здесь возникает затруднение, связанное с необходимостью присутствия специалиста около установки); заправка же криолангов весьма легка и представляет из себя просто заливку жидкого воздуха в баллоны. Кстати, именно по этой причине нашей команде пришлось отказаться от идеи использования сжиженного кислорода, смешиваемого с атмосферным воздухом, расходуемого более экономно и не имеющего проблемы с необходимостью разделения фракций.

Таким образом, наша команда предложила простой в использовании и исполнении, эффективный метод предотвращения гипоксии для людей, работающих в горах на высотах 2-10 тыс. м.

Список использованной литературы:

1. Андриевский Ю. А., Воскресенский Ю. Е., Доброленский Ю. П. Авиационное оборудование. – М.: Воениздат, 1989, 248 с. – с. 177-187.
2. Гутман Л., Ходакевич С., Антонович И. Техника альпинизма. – М.: Физкультура и спорт, 1939.
3. Мамонтов Д. Жидкая вода, жидкий воздух: криоланг – Популярная механика, 2009. — № 7 (81).
4. Burger, R., U.S. Patent 872 795, «Double walled vessel with a space for a vacuum between the walls», December 3, 1907.