

УДК 69

DOI 10.21661/r-551676

**Н.А. Целигоров, И.В. Ковалев, Д.А. Галстян**

## **СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА ЗАКРЫТОГО ТИПА**

**Аннотация:** в статье рассмотрены основные системы жизнеобеспечения закрытого типа на примере систем, установленных на подводных лодках и космических кораблях.

**Ключевые слова:** кислород, углекислый газ, вода, вентиляция, концентрация, кондиционирование.

**N.A. Tseligorov, I.V. Kovalev, D.A. Galstian**

## **CLOSED-LOOP AIR CONDITIONING AND VENTILATION SYSTEMS**

**Abstract:** the article discusses the main closed-loop life support systems on the example of systems installed on submarines and spacecrafsts, as well as systems implemented in insulating breathing apparatus.

**Keywords:** oxygen, carbon dioxide, water, ventilation, concentration, conditioning.

**Введение.** На сегодняшний день одна из наиболее популярных систем кондиционирования и вентиляции воздуха в помещении являются сплит системы. Воздух, поступающий в помещение с улицы, может нести в себе различные частицы, микроэлементы или микроорганизмы, которые негативно скажутся на самочувствии человека.

Также существуют системы кондиционирования и вентиляции воздуха закрытого типа. В основном такие системы устанавливаются на подводных лодках, космических кораблях, бункерах и т. д. В процессе эксплуатации систем кондиционирования важными моментами являются диагностика тепловых режимов и ремонт этих систем, являющихся нелинейными системами управления с неопределенностями [1; 2].

Установка такого типа систем исключает возможность попадания внутрь вентилируемого помещения нежелательных веществ, микроорганизмов или иных неблагоприятных факторов. В следствии этого люди, находящиеся внутри помещения, не рискуют заразиться или отравиться какими-либо веществами извне. Не важно какие погодные условия, катаклизмы, катастрофы или иные происшествия на улице – внутри помещения всегда будет поддерживаться заданный микроклимат с заданными концентрациями тех или иных газов [3].

*Решение проблемы.* Рассмотрим схему и принцип работы стандартных кондиционеров. Основной процесс в работе любого кондиционера – свойство жидкости поглощать тепло при переходе в газообразное состояние и отдавать его при конденсации. Рассмотрим этот процесс на примере работы сплит-системы (рисунок 1) [4].

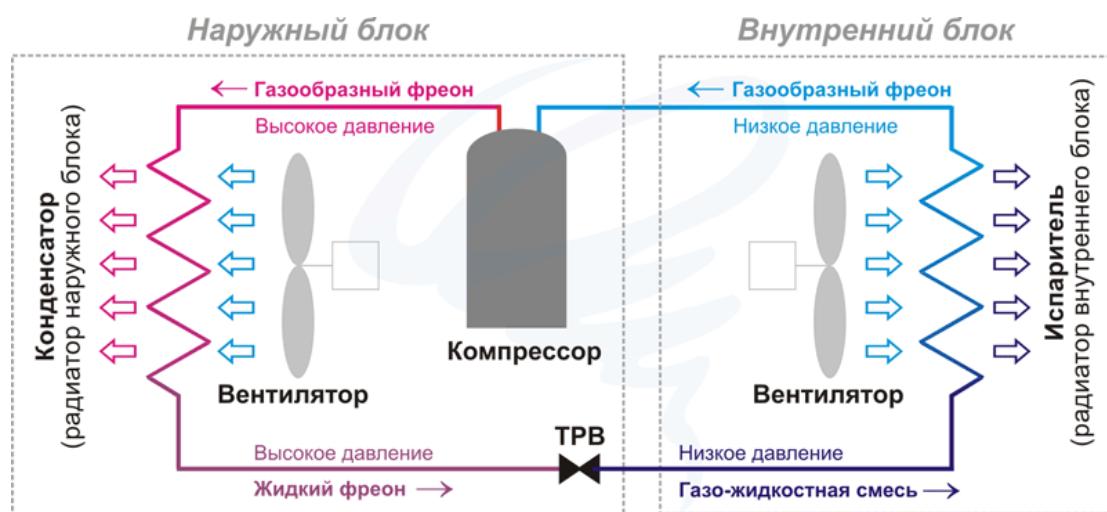


Рис. 1. Принцип работы кондиционера

Основные компоненты кондиционера:

1. *Компрессор* – сжимает хладагент и перемещает его вдоль холодильного контура.
2. *Конденсатор* – радиатор, находящийся внутри внешнего блока. Из названия понятна его суть – переход хладагента из газообразного состояния в жидкое.
3. *Испаритель* – радиатор, находящийся внутри внутреннего блока. В испарителе хладагент испаряется.
4. *TPB (терморегулирующий вентиль)* – в процессе дросселирования давление хладагента падает на входе в испаритель.

5. Вентиляторы – приводят в движение воздух, охлаждающий испаритель и конденсатор. Они нужны для увеличения теплообмена с окружающим воздухом.

Все эти компоненты объединены медными трубками и формируют холодильный контур, внутри которого циркулирует смесь хладагента и компрессорного масла. В ходе работы кондиционера происходит следующее:

1. В компрессор из испарителя поступает газообразный хладагент с давлением в 3 – 5 атмосфер и температурой 10 – 20°C.

2. Компрессор сжимает хладагент до 15–25 атмосфер, в результате чего у хладагента температура растет до 70 – 90°C и поступает в конденсатор.

3. Конденсатор обдувается воздухом с температурой ниже температуры хладагента, в следствии этого хладагент остывает и конденсируется с выделением дополнительного тепла. Во время этого у воздуха, проходящего через конденсатор, повышается температура. Выходя из конденсатора хладагент имеет высокое давление, а температура на 10 – 20°C выше температуры атмосферного воздуха.

4. Из конденсатора теплый хладагент поступает в ТРВ, который в бытовых кондиционерах является капиллярной трубкой. При прохождении через капилляр давление хладагента понижается до 3–5 атмосфер и хладагент остывает, часть хладагента может при этом испариться.

5. После ТРВ смесь жидкого и газообразного хладагента с низкими давлением и температурой поступает в испаритель, обдуваемый воздухом в помещении. В испарителе хладагент полностью испаряется, забирая у воздуха тепло, в следствии чего воздух в комнате охлаждается. Далее газообразный хладагент с низким давлением поступает в компрессор и весь цикл повторяется [5].

Данный процесс – основа работы любого кондиционера и не зависит от его типа, модели или производителя. В сплит-системах дополнительно устанавливают четырехходовой клапан (нет на схеме), позволяющий изменить направление движения хладагента, меняя испаритель и конденсатор местами. В этом случае внутренний и внешний блоки меняются местами. Внешний – охлаждает

воздух, а внутренний – нагревает. Но газовый состав воздуха не регулируется такими сплит системами.

Одна из серьезнейших проблем при функционировании кондиционера в том случае, если хладагент в испарителе не успевает полностью перейти в газовое состояние. При этом в компрессор поступает хладагент в жидком виде, который не сжимаем как газ. В следствии этого происходит гидроудар, выводящий компрессор из строя. Есть несколько причин, по которым хладагент не успевает полностью испариться. Самая распространенная – загрязнение фильтров (испаритель хуже обдувается воздухом). Еще одна – работа системы кондиционирования в условиях низкой температуры наружного воздуха (при этом испаритель «принимает» чрезмерно переохлажденный хладагент).

Стандартные системы кондиционирования и вентиляции подробно рассматривать не будем, а вот системы закрытого типа рассмотрим на примере систем космических кораблей [6].

Основная задача закрытых систем кондиционирования является уменьшение концентрации углекислого газа и воды в воздухе, а также восполнение количества кислорода. Углекислый газ и вода выделяется человеком. Поэтому воссоздание земной атмосферы на космическом корабле является основной задачей систем кондиционирования воздуха закрытого типа.

Рассмотрим решение проблемы с кислородом (рисунок 2) [7].

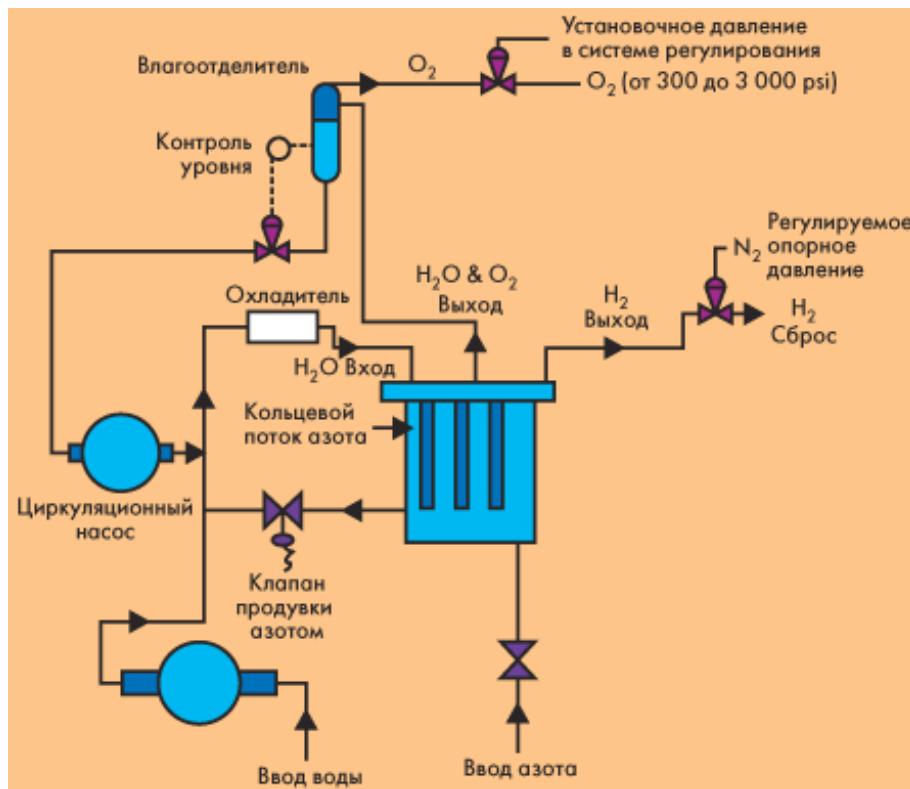


Рис. 2. Общая схема кислородной установки

В изолированных помещениях концентрация кислорода может изменяться при помощи кислородных установок, запасов кислорода, кислородных свечей. Кислородная установка сама по себе это нескончаемый источник кислорода, пригодного для дыхания. Он вырабатывается посредством электролиза воды при помощи твердых полимерных электролитных емкостей. Полимерная диафрагма, насыщенная катализаторами, является электролитом и сепаратором. В установке встроено микропроцессорное управление, время промывки, повторного запуска, а также выход на полную мощность составляет менее 15 минут. Кислород, вырабатываемый установкой, подается в помещение или накапливается в кислородных резервуарах. Попутно получаемый водород выносится за пределы помещений.

Решением проблемы восполнения кислорода на космических станциях стала система СОГС – система обеспечения газового состава [8; 9]. СОГС предусматривает в качестве основного источника кислорода регенерационную установку, в которой кислород восстанавливается из воды. Также такая система устанавливается на современных подводных лодках. Кислород синтезируется из воды методом электролиза. С помощью предприятий-разработчиков

регенерационных установок для подводных лодок был подобран ее тип и материал, который при прохождении через него влажного воздуха выделял кислород с образованием щелочи. Щелочь вступала в реакцию с углекислым газом и связывала его, превращая в твердое вещество. Ресурс установки – 12 суток, что гораздо больше ресурса системы подачи кислорода первого пилотируемого КА США «Меркурий» (36 часов).



Рис. 3. Космонавт Сергей Крикалев обслуживает систему электролиза воды «Электрон»

Основной системой подачи кислорода в гермообъемы МКС является российская система «Электрон», которая работает по принципу разложения воды на кислород и водород (водород удаляется за борт станции) [10]. Расход воды такой системой составляет 1 кг воды на человека в сутки. Все системы жизнеобеспечения на МКС дублируются, если одна из них откажет. «Электрон» дублируется системой твердотопливной генерации кислорода (ТГК). Кислород в генераторе получают из специальных кислородных шашек, в которых кислородосодержащее вещество – твердое тело. Шашки должны тлеть, и в процессе тления шашки выделяется кислород. Температура достигает +450°C. На одного человека требуется 600 литров кислорода на 24 часа. Разные виды шашек генерируют при тлении от 420 до 600 литров кислорода [11].

Теперь рассмотрим решение проблемы с контролем концентрации углекислого газа (рисунок 4) [7].

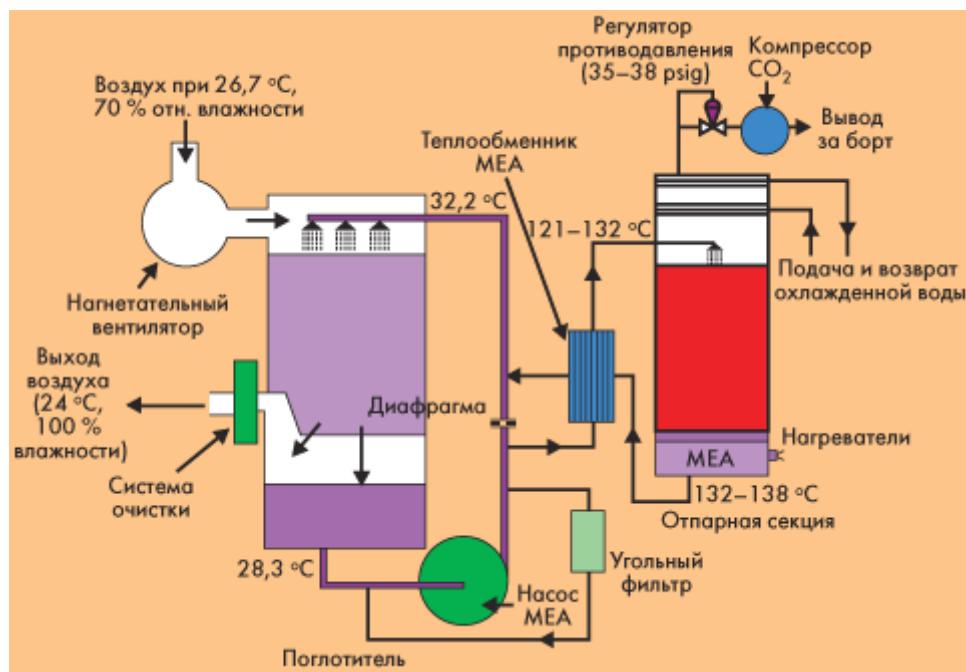


Рис. 4. Общая схема системы удаления углекислого газа

Обычно газоочистители от  $\text{CO}_2$  занимались этим процессом. В чрезвычайных ситуациях также устанавливаются контейнеры с гидратом литий оксида. Газоочистители используют раствор моноэтаноламина (MEA). Очистка происходит в поглотителе во время контакта воздуха с рециркулирующим MEA, а также при контакте выделяемого пара и  $\text{CO}_2$  с конденсирующимся MEA. Из-за того, что моноэтаноламин токсичное и коррозийное вещество, необходимо соблюдать повышенные меры предосторожности, дабы избежать его утечек.

Дополнительные блоки поглощения углекислого газа зачастую устанавливают на космических кораблях. При больших объемах обитаемых помещений устанавливаются воздуховоды и циркуляционные вентиляторы. Дополнительный фильтр вредных примесей способен поглощать выделения материалов космической станции и продуктов жизнедеятельности экипажа. Заметим, что высокая концентрация углекислого газа более вредоносна, чем падение концентрации кислорода. Основной очиститель воздуха от углекислого газа на МКС – это система «Воздух». Суть её работы в том, что углекислый газ абсорбируется, а поглотительные элементы регенерируются.

Воздухоочистительный блок от микропримесей (БМП) очищает воздух от всевозможных газообразных примесей. Это тоже система регенерационного

типа, ее патроны работают в режиме очистки 18–19 суток с последующей регенерацией. Ресурс патронов очистки воздуха составляет три года, но даже за десять лет использования необходимость в их замене не возникла: газоанализаторы показывают отличное состояние атмосферы [12].

При установке закрытых систем кондиционирования и вентиляции помещения несут в себе ряд преимуществ. Во-первых, в помещении с такой системой становится безразлично наличие или отсутствие атмосферы за пределами помещения. Во-вторых, такая система обеспечит определенный уровень стерильности помещения, в случае если воздух внешней среды заражен вредоносными бактериями, болезнетворными вирусами или вовсе опасными радионуклидами. В основном, при таких неблагоприятных условиях угроза жизни возникает при прямом проветривании помещения (открытое окно, дверь, вентиляционная шахта без фильтров). Системы закрытого типа абсолютно исключают эту угрозу.

Эти системы отлично подходят для условий эксплуатации на подводной лодке, подземного бункера или космического корабля. Но также эти системы можно установить в помещениях метрополитена. В метро эту систему выгоднее использовать при использовании метро как убежища, в случае ядерной войны. В больницах, конкретно в операционных или инфекционных отделениях, эта система так же принесет огромную пользу при обеспечении изолированности помещений от внешней среды. В операционных закрытая система обеспечит определенный уровень стерильности помещения, а в инфекционных отделениях – изолированность зараженных воздушных масс от открытой среды. Перспективы использования таких систем кондиционирования и вентиляции воздуха не ограничиваются использованием в вышеперечисленных целях. Также можно устанавливать такие системы в транспортных средствах (автотранспорт, воздушный или водный транспорт), военной технике, зданиях, рассчитанных на большое количество людей. Основным преимуществом дополнительной установки такой системы является превращение обитаемого помещения в определенное убежище при той или иной катастрофе.

Учитывая тип и устройство системы кондиционирования и вентиляции можно разделить их по назначению: фильтрующие и производящие. Не сложно догадаться, что «производящие» производят кислород. Наиболее оптимально использовать системы, производящие кислород там, где его невозможно восполнить из внешней среды. К примеру: подводная лодка, космический корабль, подземный бункер, системы жизнеобеспечения на поверхностях других планет. А вот системы кондиционирования и вентиляции, которые используют воздух из окружающей среды отлично подойдут для обычных бытовых нужд повсеместно. Однако с добавлением фильтрующих устройств эти системы отлично подойдут в больничные отделения разного назначения, в лаборатории, склады разных материалов и средств, места большого скопления людей.

Жизненно необходимы для таких систем наличие сменных патронов для очистки воздуха, фильтров, блоков очистки от микропримесей, кислородных шашек и других вышеперечисленных расходных материалов.

Однако такие системы не лишены и недостатков. На сегодняшний день такие системы очень дорогостоящи и сложны в эксплуатации и ремонте. Проблема цены преобладает над результатами их использования и преимуществами перед стандартными системами. Конечно же, можно превратить обычную систему в закрытую путем установки дополнительных фильтров, но это не даст 100% изоляции помещения.

Устранение данных недостатков может протекать в нескольких вариантах: комбинацией установок нескольких способов очистки воздуха и определенной изоляции помещения (реализовано в танковых системах герметизации для подводных переправ), создание новых методов регенерации кислорода в помещении или модернизация уже существующих систем с целью удешевления и упрощения в производстве, эксплуатации и ремонте.

*Заключение.* Для существующих видов закрытых систем кондиционирования и вентиляции воздуха в зависимости от среды обитания вентилируемого помещения и объемов обитаемых помещений должны подбираться конкретные агрегаты и системы возобновления кислорода и поглощения углекислого газа. Так

как данные системы являются универсальным решением поставленных задач, то для достижения изолированности любого помещения от внешней среды, получения определенного уровня стерильности помещения при необходимости, а также независимости от наличия атмосферы за пределами вентилируемого помещения, необходимо удешевить производство и упростить эксплуатацию и ремонт агрегатов этих систем.

### ***Список литературы***

1. Tseligorov N. Assessment of robust stability of room temperature control system / N. Tseligorov, E. Tseligorova, G. Mafura // Университетский научный журнал. – 2017. – №30. – С. 39–45.
2. Tseligorov N. Robust absolute stability analysis of a temperature control system for an enclosed space / N. Tseligorov, E. Tseligorova, G. Mafura // Проблемы оптимизации сложных систем. Труды 13-ой Международной Азиатской школы-семинара в рамках международной мультиконференции IEEE SIBIRCON 2017. – С. 356–359.
3. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин. – 3-е изд. – М.: Евроклимат, 2001. – 416 с.
4. Доссат Р.Д. Основы холодильной техники / Р.Д. Доссат. – М., 1984. – 508 с.
5. Коляда В.В. Кондиционеры. Принципы работы, монтаж, установка, эксплуатация. Рекомендации по ремонту / В.В. Коляда. – М., 2002. – 240 с.
6. Романов А.И. Конструктор космических кораблей / А.И. Романов. – М.: Политиздат, 1969.
7. Кондиционирование воздуха на подводных лодках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2125](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2125)
8. Реализованные проекты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.niichimmash.ru/projects/elektron-vm/>
9. MKC-ECLSS – ISS ECLSS/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.qwe.wiki/wiki/ISS\\_ECLSS](https://ru.qwe.wiki/wiki/ISS_ECLSS)

- 
10. Откуда берутся вода и кислород на МКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/401893/>
  11. Astronautics and Aeronautics. Chronology of Science, Technology and policy. – Washington: NASA historical office, 1970. – 582 p.
  12. Успенский Г.Р. Космонавтика XXI / Г.Р. Успенский. – М.: Инвестиция, 1997. – 378 с.

### ***References***

1. Tseligorov, N., Tseligorova, E., & Mafura, G. (2017). Assessment of robust stability of room temperature control system. *Universitetskii nauchnyi zhurnal*, 30, 39-45.
2. Tseligorov, N., Tseligorova, E., & Mafura, G. (2017). Robust absolute stability analysis of a temperature control system for an enclosed space. *Problemy optimizatsii slozhnykh sistem*, 356-359.
3. Anan'ev, V. A., Balueva, L. N., & Gal'perin, A. D. (2001). *Sistemy ventiliatsii i konditsionirovaniia. Teoriia i praktika.*, 416. M.: Evroklimat.
4. Dossat, R. J. (1984). *Osnovy kholodil'noi tekhniki.*, 508. M.
5. Koliada, V. V. (2002). *Konditsionery. Printsipy raboty, montazh, ustanovka, ekspluatatsiia. Rekomendatsii po remontu.*, 240. M.
6. Romanov, A. I. (1969). *Konstruktor kosmicheskikh korablei.* M.: Politizdat.
7. Konditsionirovanie vozdukh na podvodnykh lodkakh. Retrieved from [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2125](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2125)
8. Realizovannye proekty. Retrieved from <https://www.niichimmash.ru/projects/elektron-vm/>
9. MKS-ECLSS - ISS ECLSS. Retrieved from [https://ru.qwe.wiki/wiki/ISS\\_ECLSS](https://ru.qwe.wiki/wiki/ISS_ECLSS)
10. Otkuda berutsia voda i kislorod na MKS. Retrieved from <https://habr.com/ru/post/401893/>
11. (1970). Astronautics and Aeronautics. Chronology of Science, Technology and policy., 582. Washington: NASA historical office.
12. Uspenskii, G. R. (1997). *Kosmonavtika XXI.*, 378. M.: Investitsiia.

**Целигоров Николай Александрович** – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия.

**Tseligorov Nikolai Aleksandrovich** – doctor of engineering sciences, professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

**Ковалев Илья Владимирович** – магистрант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия.

**Kovalev Ilia Vladimirovich** – master's degree student, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

**Галстян Даниэль Алексеевич** – магистрант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия.

**Galstian Daniel Alekseevich** – master's degree student, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

---