

12, декабрь, 2015

УДК 629.78

Система очистки и осушки атмосферы пилотируемого космического корабля для многократных полетов

*Хотеева Ю.Г., магистр
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Баумана,
кафедра «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

*Научный руководитель: Смородин А.И., д.т.н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»
crio@power.bmstu.ru*

В работе рассмотрена система очистки и осушки воздуха в герметичном отсеке пилотируемого транспортного средства. Целью настоящей работы является анализ существующей системы очистки и осушки воздуха на «Международной космической станции» (МКС) с учетом изменения условий эксплуатации, оптимизация массовых и компоновочных характеристик, параметров производительности и разработка предложений по созданию новых систем для обеспечения длительных полетов перспективных пилотируемых космических аппаратов (транспортных кораблей, орбитальной станции, лунных и планетарных баз).

Основываясь на принципе работы системы очистки и осушки атмосферы на борту орбитальной станции «Мир» и «МКС», может быть определен образ новой системы.

В соответствии с требованиями [1] человек в сутки выделяет в среднем 480 л (0,96 кг) углекислого газа и 1,5 кг влаги. При этом уровень парциальных давлений влажности и углекислого газа в атмосфере не более 10 мм рт. ст. и 6 мм рт. ст. соответственно.

Схема существующей системы приведена на рис.1.

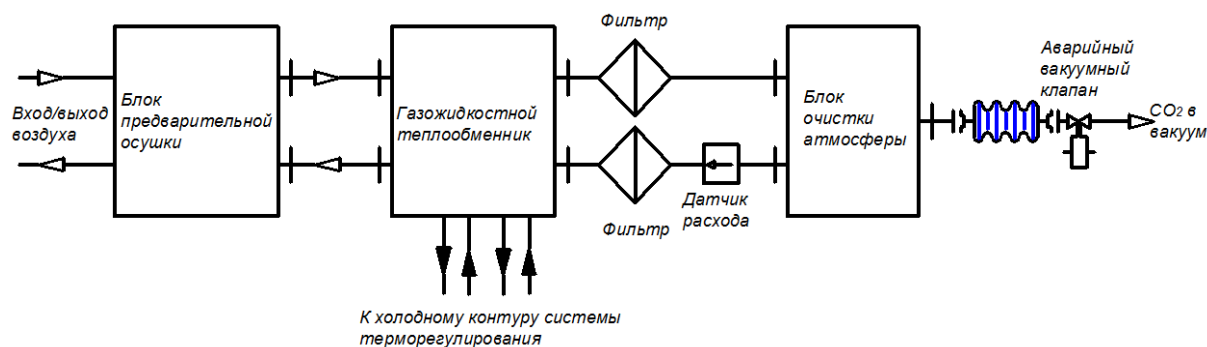


Рис. 1. Принципиальная структурная схема системы очистки и осушки атмосферы на станции МКС

Работа системы происходит следующим образом – воздух из объема герметичного отсека поступает на вход блока предварительной осушки (БПО), где идет процесс удаления влаги. Сухой подогретый воздух поступает в газожидкостный теплообменный аппарат, где охлаждается и направляется в блок очистки атмосферы (БОА). В поглотительном патроне блока БОА происходит очистка потока воздуха от углекислого газа и остатков паров воды в космическое пространство. Очищенный воздух поступает обратно в БПО, где насыщается сорбированной влагой и попадает в объект. Сохранять влагу в объекте орбитальной станции целесообразно для переработки ее в системе регенерации воды из конденсата.

Возможными направлениями совершенствования системы очистки атмосферы являются:

- одновременное удаление из атмосферы диоксида углерода и паров воды;
- удаление из атмосферы части вредных микропримесей;
- выравнивание поля температур в слое сорбента за счет встроенного в поглотительные патроны теплообменного аппарата (ТОА);
- оптимизация логики и режимов работы системы очистки и осушки.

Для одновременной очистки атмосферы от двуокиси углерода и паров воды из схемы исключаются БПО и газожидкостный теплообменный аппарат (ГЖТА), что показано на рис.2.

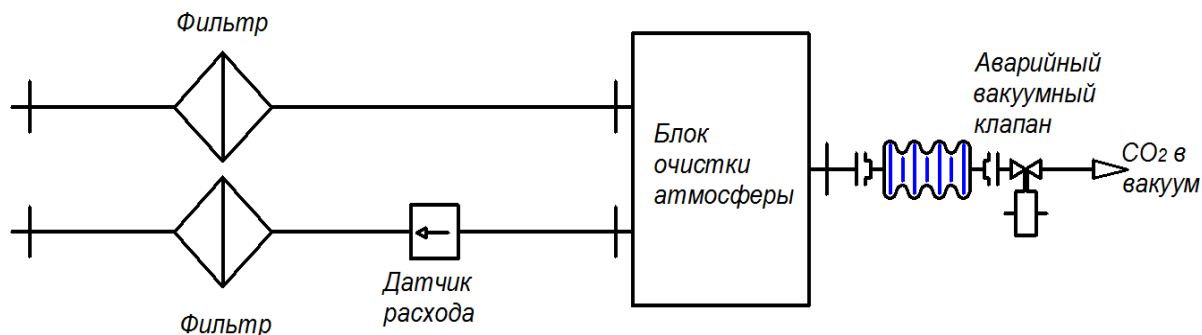


Рис. 2. Принципиальная структурная схема системы очистки и осушки атмосферы для перспективных транспортных средств

По массовым характеристикам этот вариант экономически более выгоден для условий эксплуатации на многократные пилотируемые полеты. Для орбитальных станций и космических кораблей, например, для полетов к Марсу целесообразно использовать системы с БПО и ГЖТА для сохранения влаги в отсеке с целью ее дальнейшего использования в системе регенерации воды из конденсата.

Чтобы расширить область применения предлагаемой системы очистки атмосферы в отличие от существующей и уменьшить массу системы жизнеобеспечения, функции поглощения вредных микропримесей следует возложить на систему очистки атмосферы. Для обеспечения поглощения вредных микропримесей в соответствии с [1] и анализа влияния этих веществ на свойства сорбента необходимо проведение специальных исследований.

Для экономичной компоновки и обеспечения ремонтпригодности возможно использование унифицированных блоков адсорбера как элемента очистки атмосферы (рис.3).

- улучшение внешней диффузии веществ при десорбции за счет образования дополнительных транспортных каналов;
- снятие теплоты адсорбции в процессе поглощения CO_2 и H_2O .

В этой связи может быть рассмотрено четыре варианта конструкции ТОА. Поверхность теплообмена образована из трубок диаметром 14x1 мм с различными типами оребрения и, как вариант, рассматривается конструкция с металлической сеткой из нержавеющей стали (рис.4).

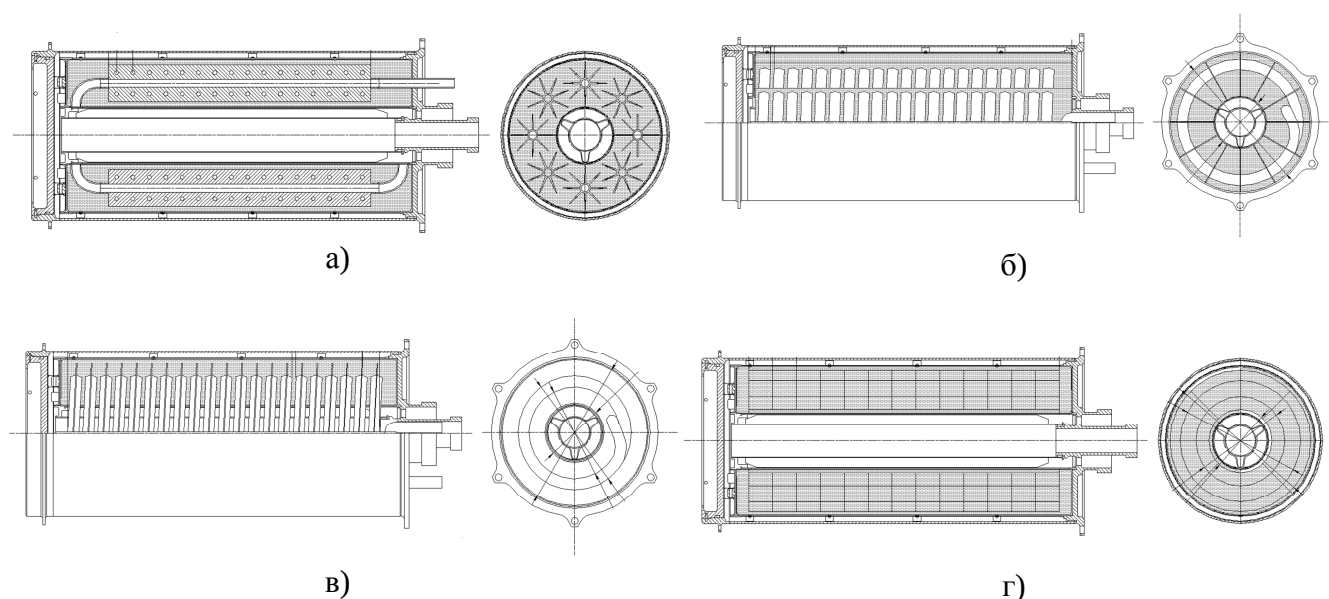


Рис. 4. Варианты теплообменных поверхностей, встроенных в адсорбер:

- а) трубка с оребрением в виде «звездочки»; б) продольные ребра со спиралевидной трубкой;
в) спиралевидная трубка с плоским оребрением; г) металлическая сетка из нержавеющей стали

Анализ технологических и эксплуатационных показателей, таких как простота изготовления и эффективность работы показал, что вариант б) предпочтителен. Общий вид аппарата представлен на рис.4б.

Конструкция представляет собой корпус адсорбера, в который установлены продольные ребра со спиралевидной трубкой (рис.5). Теплоносителем служит глицерин из системы терморегулирования. В свободный объем засыпан сорбент. Адсорбентом для CO_2 и влаги служат гранулы силикагеля, с пропиткой, обеспечивающей поглощение углекислого газа и микропримесей. Движение воздуха внутри адсорбера осуществляется по радиусу от центра к периферии на длину 60 мм.

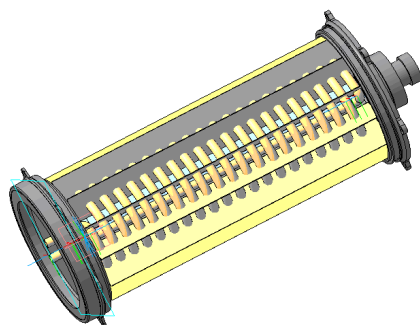


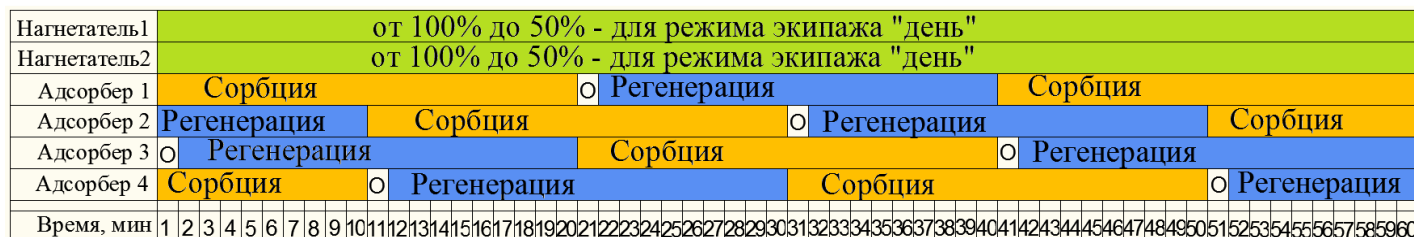
Рис. 5. Общий вид теплообменной поверхности, встроенной в адсорбер.

Оптимизация логики и режимов работы системы очистки и осушки воздуха перспективных космических аппаратов осуществляется за счет изменения производительности нагнетателей и подбора режима работы адсорберов. Регулирование производительности системы по скорости удаления CO_2 и H_2O осуществляется по выбранным алгоритмам работы блоков автоматического контроля и управления, что позволяет согласовать производительность системы по удалению CO_2 и влаги в зависимости от физической и эмоциональной нагрузки членов экипажа. Алгоритм работы системы, исходя из программы полета, рассчитывается на экипаж с численностью два, четыре и шесть человек. Среднесуточная скорость выделения экипажем влаги и углекислого газа представлена в таблице.

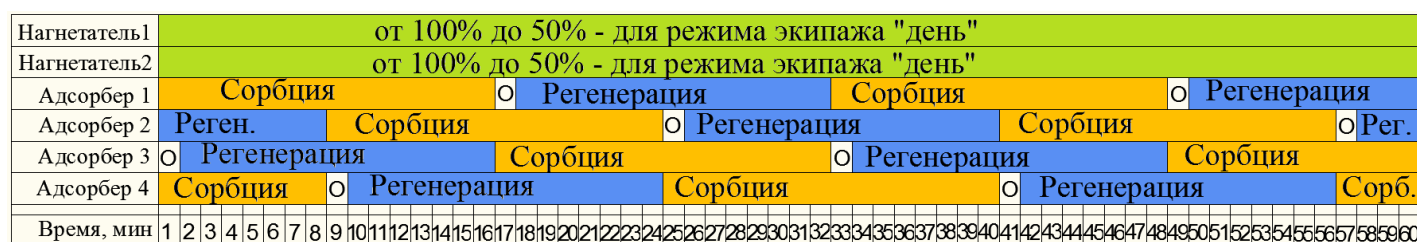
Среднесуточная скорость выделения		
Экипаж	CO_2	H_2O
чел	л/ч	г/ч
2	40	120
4	80	240
6	120	360

В процессе совместной сорбции-десорбции CO_2 и H_2O происходит постепенное накопление в слое поглотителя влаги, приводящее к уменьшению рабочего объема адсорбента – дезактивации слоя и снижению производительности системы. Для восстановления адсорбционных свойств слоя поглотителя требуется увеличение длительности этапа десорбции. Минимально необходимая теоретическая длительность этого этапа для экипажа из 6 человек составляет 10 минут. Для реализации полной регенерации слоя рабочего вещества время этапа десорбции целесообразно увеличить на

15..20 %. Циклограммы основного режима работы системы при численности экипажа из двух, четырех и шести человек приведены на рис.6.



а)



б)



в)

Рис. 6. Циклограмма основных режимов работы системы очистки и осушки:

«О» – положение адсорбера «Откачка» для возврата части очищенного воздуха в объем кабины;

а) циклограмма для экипажа из двух человек; б) циклограмма для экипажа из четырех человек;

в) циклограмма для экипажа из шести человек.

В результате проведенного исследования получены исходные данные на разработку системы жизнеобеспечения жилого отсека космического корабля в части осушки и очистки атмосферы.

Список литературы

- ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Введ.1996-07-01. М.: Госстандарт России, 1995. 121 с.
- Серебряков В.Н. Основы проектирования систем жизнеобеспечения экипажа космических летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1983. 159 с.

3. Дытнерский Ю.И., Г.С. Борисов, В.П. Брыков и др. Основные процессы аппараты химической технологии: пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1991. 496 с.
4. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров. М.: Высшая школа, 1969. 416 с.
5. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М., Справочник по теплопередаче. М.: Госэнергоиздат, 1958. 418 с.