электронный журнал

МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

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.

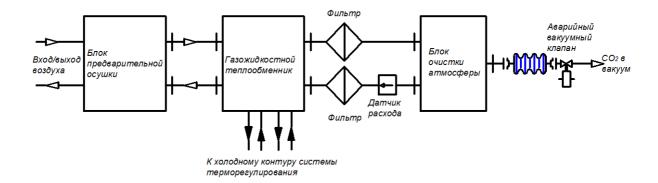


Рис. 1. Принципиальная структурная схема системы очистки и осушки атмосферы на станции МКС

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 газожидкостной 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 (TOA);
 - оптимизация логики и режимов работы системы очистки и осушки.

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

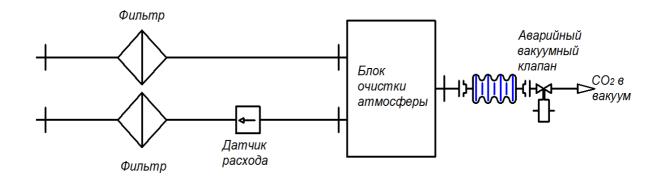


Рис. 2. Принципиальная структурная схема системы очистки и осушки атмосферы для перспективных транспортных средств

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 соответствие с [1] и анализа влияния этих веществ на свойства сорбента необходимо проведение специальных исследований.

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

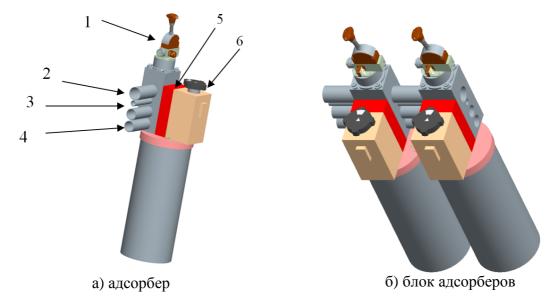


Рис. 3. Общий вид устройства для очистки и осушки атмосферы с управляющими клапанами: 1 - аварийный вакуумный клапан; 2 - магистраль регенерации (вакуум); 3 - дренажная магистраль; 4 - вход/выход; 5 – коллектор; 6 - блок вакуумных клапанов

Учитывая многолетний опыт работы системы на орбитальной станции, а также наземные проверки и испытания, производительность системы очистки и осушки может быть повышена следующим образом:

- увеличением расхода воздуха через систему путем замены имеющегося вентилятора на более производительный. Пределы применимости нагнетательных машин определяют по производительности и давлению для обеспечения требуемой производительности и повышения давления целесообразнее всего применить нагнетатель роторного типа. При выборе также учитывается, что для обеспечения удаления заданного количества СО2 системе требуется соответствующий расход воздуха. В процессе длительной эксплуатации гидравлическое сопротивление системы возрастает за счет забивки фильтров. Величина этого сопротивления влияет на производительность нагнетателя. Поэтому требуется минимальное влияние повышения давления в нагнетателе на величину расхода воздуха.
- автоматическая смена режимов работы поглотительных патронов при заданном значении разницы парциальных давлений CO_2 по показаниям газоанализатора.

Выравнивание поля температур в слое сорбента возможно за счет размещения внутри адсорбера теплообменной поверхности различной конфигурации. При этом необходимо добиться, чтобы встроенная теплообменная поверхность обеспечивала:

равномерный подвод тепла к слою для исключения процесса замерзания
 влаги на поверхности сорбента при вакуумной регенерации;

- улучшение внешней диффузии веществ при десорбции за счет образования дополнительных транспортных каналов;
 - снятие теплоты адсорбции в процессе поглощения CO₂ и H₂O.

В этой связи может быть рассмотрено четыре варианта конструкции ТОА. Поверхность теплообмена образована из трубок диаметром 14х1 мм с различными типами оребрения и, как вариант, рассматривается конструкция с металлической сеткой из нержавеющей стали (рис.4).

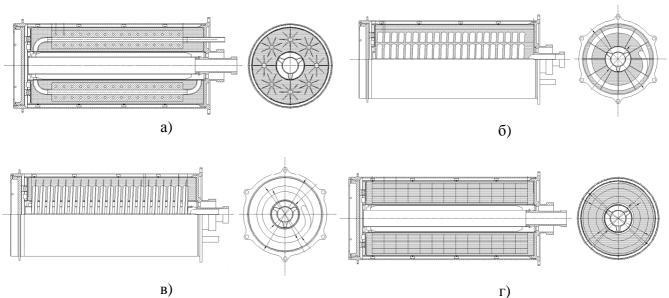


Рис. 4. Варианты теплообменных поверхностей, встроенных в адсорбер: а) трубка с оребрением в виде «звездочки»; б) продольные ребра со спиралевидной трубкой; в) спиралевидная трубка с плоским оребрением; г) металлическая сетка из нержавеющей стали

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 СО₂ 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.

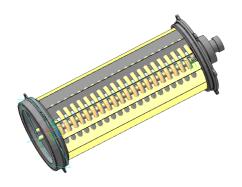


Рис. 5. Общий вид теплообменной поверхности, встроенной в адсорбер.

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 СО2 и Н2О осуществляется по выбранным алгоритмам работы блоков автоматического контроля и управления, что позволяет согласовать производительность системы по удалению СО2 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 ₂ O			
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.

Нагнетатель1	от 100% до 50% - для режима экипажа "день"							
Нагнетатель2	# 0 0 0 /							
Адсорбер 1	Сорбция		о Регенерация		Сорбция			
Адсорбер 2	Регенерация	Сорбция		О Регенерация		Сорбция		
Адсорбер 3	о Регенерация Сорбция			о Регенерация				
Адсорбер 4	Сорбция	Регенерация		Сорбция		Регенерация		
Время, мин	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	11121314151617181920	21222324252627282930	31323334353637383940	41424344454647484950	51525354555657585960		

a)

от 100% до 50% - для режима экипажа "день"							
от 100% до 50% - для режима экипажа "день"							
Сорбция						о Регенера	ция
Реген.	Сорбция	C	Регенераци	Я	Сорбция		о Рег.
о Регенерация Сорбци		Сорбция	о Регенерац		ция Сорбци		
Сорбция	о Регенерат	ция	Сорбция		о Регенераі	ия	Сорб.
Время, мин 1 2 3 4 5 6 7 8 9 101112131415 1617 1819 2021 2223 2425 2627 2829 3031 3233 3435 3637 3839 40 4142 43 4445 4647 48 49 50 51 52 53 54 56 56 57 58 59 60							
	Реген. Регенерат	от 100% Сорбция Реген. Сорбция Регенерация Сорбция о Регенера	от 100% до 50% - для р Сорбция О Регенерац Реген. Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенерация	от 100% до 50% - для режима экипа Сорбция Реген. Сорбция Регенерация Сорбция Сорбция О Регенерация Сорбция Сорбция Сорбция	от 100% до 50% - для режима экипажа "день" Сорбция Реген. Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция Сорбция	от 100% до 50% - для режима экипажа "день" Сорбция О Регенерация Сорбция Реген. Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенерация О Регенерация	от 100% до 50% - для режима экипажа "день" Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенера Реген. Сорбция О Регенерация Сорбция О Регенерация О Регенерация Сорбция Сорбция О Регенерация О Регенерация

б)

Нагнетатель1	от 100% до 50% - для режима экипажа "день"							
Нагнетатель2	от 100% до 50% - для режима экипажа "день"							
Адсорбер 1	Сорбция	Регенерация	Сорбция	[Регенер	ация	Сорбция	
Адсорбер 2	Реген. Сорбция	о Регене	ерация	Сорбция	[Регенер	рация	Сорбция
Адсорбер 3	о Регенерация	Сорбция	о Регене	рация	Сорбци	R	о Регене	рация
Адсорбер 4	Сорбция о Регене	ерация Сорбция		о Регенер	ация	Сорбці	ИЯ	о Реген.
Время, мин	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	131415161718192021222324	252627282930	3132333435363	373839404142	134445464748	495051525354	555657585960

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

- 1. ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Введ.1996-07-01. М.: Госстандарт России, 1995. 121 с.
- 2. 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.