

ФИЛЬТР ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СРЕДСТВ ЗАПРАВКИ БАЛЛОННЫХ ДРОССЕЛЬНЫХ МИКРОКРИОГЕННЫХ СИСТЕМ

Ильин В.М., канд. техн. наук, доцент, Баранов Е.Д., Михалев А.В.
ООО «НТК «Криогенная техника», г. Омск

В настоящем докладе представлены результаты работ по изучению глубокой очистки воздуха от диоксида углерода на гидроокисях щелочных металлов. Сформирован состав химпоглотителя. Разработан фильтр картриджного типа для воздушного заправщика баллонных дроссельных микрокриогенных систем.

This report presents results of studies on deep cleansing of the air of carbon dioxide in the alkali metal hydroxide. Formed the composition of chemical absorber. Designed filter cartridge type for pure air generator of the bottle-type throttle micro-cryogenic systems.

Ключевые слова: очистка воздуха от диоксида углерода, воздушный заправщик, баллонные дроссельные микрокриогенные системы.

Разомкнутые баллонные дроссельные микрокриогенные системы (БДМКС) широко применяются для криостатирования при температурах до 80 К фотоприемников инфракрасного излучения. Их преимуществами являются простота конструкции, возможность работы без потребления энергии от внешнего источника, малые размеры и масса.

Наиболее доступным и дешевым криоагентом для баллонных дроссельных микрокриогенных систем (БДМКС) является атмосферный воздух. Его использование позволяет организовать производство криоагента непосредственно в месте его потребления, но связано с необходимостью глубокой очистки от легкоконденсируемых примесей. В частности, для обеспечения надежной работы БДМКС содержание CO_2 в криоагенте не должно превышать 1 ppm.

Применимость хорошо отработанных и широко используемых в криогенной технике адсорбционных методов очистки на цеолитах в портативных средствах обеспечения криоагентом проблематична ввиду низкой адсорбционной ёмкости указанных сорбентов по диоксиду углерода и её резкой температурной зависимости в диапазоне эксплуатационных температур. Перспективно применение химической очистки от диоксида углерода, однако выпускаемые отечественной промышленностью поглотители не рассчитаны на очистку с указанной глубиной, и их возможности в данной области выходных концентраций не изучены.

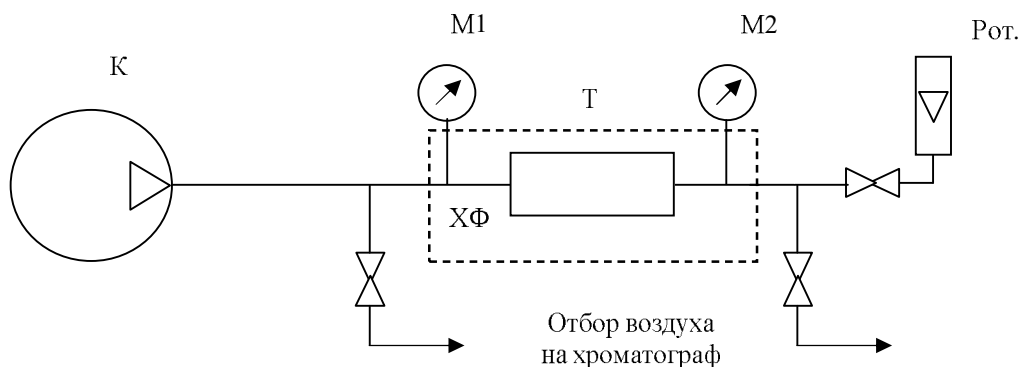
Целью настоящей работы является оценка возможности обеспечения очистки воздуха от диоксида углерода до остаточного содержания на уровне 1 ppm на гидроокисях щелочных металлов и поглотителя на их основе, выбор поглотителя, разработка фильтра для воздушного заправщика.

Возможность выполнения требований к глубине очистки воздуха была изучена на ряде материалов на основе гидроокисей щелочных металлов, применяемых в системах жизнеобеспечения, а также для контроля содержания диоксида углерода химическим методом [1].

Поглотительные свойства образцов определялись на стенде (рис. 1). Содержание диоксида углерода на входе и выходе фильтра с поглотителем измерялось хроматографическим методом по ранее разработанной методике [2] с концентрированием примеси. Влага из отбираемых на анализ проб воздуха удалялась осушителем ИК-011-1 (ТУ-2163-024-03533913-99), для охлаждения концентратора использовалась кубовая жидкость.

При оценке применимости и сравнении образцов сопоставлялись полученные значения глубины очистки и динамической ёмкости поглотителей, а также устойчивость остаточной концентрации диоксида углерода в очищенном потоке к изменению расхода воздуха. Измерения проводились при температуре 20 ± 3 °С, концентрация диоксида углерода на входе фильтра составляла $350 \div 500$ ppm, длина слоя поглотителя была равна 130 мм. Измерения проводились при давлениях 2,5 и 3,7 МПа, линейная скорость потока варьировалась в диапазоне 0,2–1 см/сек. По результатам проведённых испытаний был сделан предварительный выбор наиболее перспективных образцов поглотителей.

Номенклатура и результаты определения поглотительных свойств выбранных образцов приведены в табл. 1.



К – компрессор; M1, M2 – манометры; ХФ – химический фильтр; Рот – ротаметр; Т – термостат

Рис. 1 – Стенд для изучения поглотительных свойств образцов

Поглотитель химический известковый ХП-И (ГОСТ 6755-88) позволяет получить глубину очистки до остаточной концентрации CO_2 на уровне, близком к 1 ppm, однако при указанных выше условиях ввиду нестабильности процесса очистки представительных данных по динамической ёмкости получить не удалось.

Таблица 1 – Номенклатура и характеристики образцов поглотителей диоксида углерода (давление 3,7 МПа, скорость 0,3 см/с)

№	Тип поглотителя	Глубина очистки, ppm	Динамическая ёмкость, г/см ³	Устойчивость к изменению расхода	Вредность ПДК, мг/м ³
1	ХП-И	1,1-1,5	–	Нет	–
2	Аскарит (фракция 0,5–4 мм)*	0,2	0,45	Да	0,5
3	NaOH (фракция 0,3–0,5 мм)*	0,2	0,34	Да	0,5
4	LiOH×H ₂ O	0,5	0,23	Нет	0,02

Гидроокись натрия NaOH (ГОСТ 2263-71) перед испытаниями дробилась с отбором фракции 0,3–0,5 мм. Ввиду высокой растворимости NaOH и склонности к образованию кристаллогидратов для предотвращения нарушения порозности слоя до завершения опыта испытуемый образец смешивался с осушителем. NaOH обеспечивает глубину очистки ниже 1 ppm в указанном выше диапазоне линейных скоростей и нечувствителен к изменению расхода.

Аскарит (ТУ 6-09-4128-88) перед испытаниями также смешивался с осушителем. Он представляет собой NaOH, нанесённый на волокна асбеста с целью увеличения удельной поверхности. Это даёт увеличение динамической ёмкости при близких к гидроокиси натрия показателях по глубине очистки.

Моногидрат гидроокиси лития LiOH×H₂O (ГОСТ 8595-83) также обеспечивает глубину очистки ниже 1 ppm, концентрация CO_2 на выходе фильтра чувствительна к изменению скорости потока. Малая водорастворимость и отсутствие дальнейшего гидратообразования позволяют использовать его в качестве поглотителя в состоянии поставки. Это определяет его более высокую динамическую активность в сравнении с поглотителями на основе гидроокиси натрия, а также упрощает технологический процесс снаряжения фильтра. Однако выявленное преимущество в значительной степени обесценивается высокой вредностью и существенным снижением растворимости LiOH×H₂O с ростом температуры. Последнее при изменении температуры приводит к кристаллизации гидроокиси лития из скапливающегося в лобовой части слоя насыщенного раствора на сетках и других элементах фильтра и, как следствие к нарушению распределения потока, росту гидравлического сопротивления фильтра вплоть до полного перекрытия входного сечения.

На основании полученных результатов и анализа устойчивости материалов, применяемых при проектировании фильтров, к воздействию перечисленных веществ, а также соображений безопасности в качестве активного компонента поглотителя диоксида углерода был выбран аскарит.

Состав поглотителя формировался с целью обеспечения его живучести при сохранении поглотительной способности в условиях эксплуатации воздушного заправщика (давление 3,7 МПа; температура

от 5 до 55 °С). В результате обработки ряда вариантов был сформирован состав поглотителя аскарит/СаО в соотношении 1:2.

С целью подтверждения полученных результатов и более детального изучения свойств поглотителя были выполнены пилотные испытания полученного поглотителя на фильтре со следующими параметрами слоя: длина — 390 мм, диаметр — 52 мм при условиях, близких к эксплуатационным. В ходе испытаний определялись времена защитного действия ХФ в интервале рабочих температур от 5 °С до 55 °С и влажности входящего потока от 15±5 ррм до максимальной при заданной температуре.

Критериями окончания испытаний служили:

- при рабочей температуре 5 °С — содержание диоксида углерода в очищенном потоке выше 1 ррм;
- при рабочей температуре 55 °С — гидравлическое сопротивление ХФ 3 атм или наработка больше 40 часов.

Полученные зависимости концентрации диоксида углерода на выходе ХФ от наработки приведены на рис. 2. Из приведенных данных видно, что разработанный поглотитель сохраняет работоспособность во всем диапазоне реальных значений температур и обладает ресурсом не менее 50 м³/л (по входящему воздуху с содержанием СО₂ 500 ррм)



1) при $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2) при $t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рис. 2 – Зависимость концентрации диоксида углерода от количества переработанного воздуха

В ходе испытаний существенного изменения гидравлического сопротивления ХФ от наработки не наблюдалось, т.е. живучесть фильтра не теряется в течении всего ресурса.

Полученный химический поглотитель был применён при разработке фильтра химической очистки полевого автономного воздушного заправщика баллонных дроссельных микрокриогенных систем [3]. Планируемый ресурс фильтра 100 часов был подтверждён испытаниями во всём диапазоне условий эксплуатации, а также последующими испытаниями в составе опытных и серийных образцов заправщика. Конструктивно фильтр выполнен в виде сменного картриджа, помещенного в герметичный корпус. Длительность хранения сменных картриджей составляет не менее 7 лет, что подтверждено натурными испытаниями.

Таким образом, в результате проведённых работ был сформирован состав химического поглотителя диоксида углерода для глубокой очистки воздуха, изучено влияние климатических факторов на его поглотительную способность. На основе полученного поглотителя был разработан и внедрён в серийное производство химический фильтр полевого автономного воздушного заправщика баллонных дроссельных микрокриогенных систем

Литература

1. Громов Э.А., Ильин В.М., Михалев А.В. Результаты изучения глубокой очистки воздуха от диоксида углерода на гидроокисях щелочных металлов // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Сборник трудов II международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2003. – Т. 1. – С. 23-27.

2. Матяш Ю.И., Стрельникова Е.Б. Хроматографический метод определения микропримесей воды и диоксида углерода в многокомпонентном криоагенте. Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф. «Микрокриогенная техника – 84». – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1984. – С.58-59.
3. Ильин В.М., Ермаков В.М., Калинин В.В. Полевой автономный воздушный заправщик для баллонных дроссельных микрокриогенных систем // Наукові праці ОНАХТ, Одеса. – 2009. – Вип. 35. Т. 1. – С.221-222.

УДК 532.5.032

РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС В ДИСКОВОМ НАСОСЕ ТРЕНИЯ

**Кишкин А.А., д-р техн. наук, профессор, Смирнов П.Н., аспирант,
Делков А.В., магистрант, Ходенков А.А., магистрант
Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск**

Рассматривается подход к построению математической модели дискового насоса трения путем разложения его гидравлического тракта на отдельные структурно-функциональные участки. На основе напряжений трения, полученных из уравнений импульсов турбулентного пространственно-пограничного слоя, приведены решения уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости в каждом из участков.

An approach to constructing a mathematical model of the friction disk pump through the expansion of its hydraulic path into individual structural-functional areas is considering. Based on the friction pressure obtained from the momentum equations of turbulent spatial boundary layer, solutions of the motion equations of viscous incompressible fluid in each of the sites are given.

Ключевые слова: дисковый насос, напряжения трения, уравнения движения, математическое моделирование.

Дисковые насосы представляют собой простейшие турбомашин, в которых рабочему телу сообщается энергия за счет работы кориолисовых сил в форме сил трения. Основным элементом дискового насоса является расположенное в корпусе колесо, состоящее из нескольких дисков, скрепленных между собой. Дисковые насосы имеют ряд преимуществ по сравнению с лопастными машинами, а в некоторых областях единственно работоспособными [1]. Учитывая, что дисковые насосы обладают исключительными антикавитационными свойствами, что позволяет более эффективно перекачивать двух- и трехфазные среды, имеют низкий уровень шума, они получили широкое применение в нефте- и горнодобывающей, химической, пищевой промышленности, медицине. Кроме того, дисковые насосы эффективно работают в области малых коэффициентов быстроходности (при малых объемных расходах и высоких напорах), что в сочетании с антикавитационными качествами определяет их применение в энергосистемах малой мощности (<100 кВт), использующих фазовый переход рабочего тела: паротурбинные генераторы на низкокипящем рабочем теле, системы терморегулирования различного назначения и т.п.

Для моделирования течения в рабочей полости дискового насоса, целесообразно выделить структурно-функциональные участки гидравлического тракта, на которых реализованы различные типы течения. Причем течение на каждом участке условно делится на течение в ядре и пространственном пограничном слое (ППС) [2]. Решение задачи о течении в ППС сводится к определению напряжений трения на непроницаемых границах. Результатом решения задачи о течении в ядре потока являются поля угловой скорости вращения ядра потока и статического давления. Согласно принципиальной схеме дискового насоса (рис. 1) нами были рассмотрены два таких участка: с течением между вращающимся диском и неподвижной стенкой, и с течением между двумя вращающимися дисками. Рассмотрим каждый из этих участков по отдельности.

Рассмотрим элементарный объем жидкости в зазоре между двумя вращающимися дисками (рис. 2). На рисунке $\tau_{0\alpha}^{\partial 1}, \tau_{0\alpha}^{\partial 2}$ — окружные напряжения трения на первом и втором диске соответственно; $\tau_{0R\alpha}^{\partial 1}, \tau_{0R\alpha}^{\partial 2}$ — радиальные напряжения трения от окружной составляющей скорости на первом и втором диске соответственно; $\tau_{0Rp}^{\partial 1}, \tau_{0Rp}^{\partial 2}$ — радиальные напряжения трения от расходной составляющей скорости на первом и втором диске соответственно. Элементарный объем представляет собой кольцо на теку-