

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОГАБАРИТНОГО КРИОАДСОРБЦИОННОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

DEVELOPMENT OF A CALCULATION METHOD OF THE MAIN PARAMETERS OF A SMALL SIZE CRYOADSORPTION VACUUM PUMP

У.С.Гордеева(ORCID: 0000-0000-0000-0000) /tests.ibmes@gmail.com

U.S.Gordeeva

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Определена принципиальная схема малогабаритного криоадсорбционного вакуумного насоса (КАВН). Предложен алгоритм определения основных параметров малогабаритного криоадсорбционного вакуумного насоса т.к. сорбционную емкость адсорбента, объем хладагента, время непрерывной работы до насыщения адсорбента. На основе предложенного алгоритма разработан метод расчета основных параметров малогабаритных КАВН. Разработанный метод расчета будет применен для оптимизации массогабаритных характеристик КАВН, что позволит значительно расширить область их применения.

The schematic diagram of a small cryoadsorption vacuum pump (CAVP) is defined. An algorithm for determining the basic parameters of a small cryoadsorption vacuum pump is proposed because the sorption capacity of the adsorbent, the volume of refrigerant, the time of continuous operation until the saturation of the adsorbent. The developed calculation method will be used to optimize the mass and size characteristics of CAVP, which will significantly expand the scope of their application.

Ключевые слова: малогабаритный криоадсорбционный вакуумный насос, алгоритм определения параметров, метод расчета, массогабаритные характеристики.

Keywords: small cryoadsorption vacuum pump, algorithm for determining the basic parameters, calculation method, mass and size characteristics.

ВВЕДЕНИЕ

Принцип действия криоадсорбционного насоса основан на температурной обратимости физической адсорбции, т.е. поглощении газа твердым адсорбентом при снижении температуры и выделении его адсорбентом при повышении температуры. Соответственно, основная задача при технологическом проектировании криоадсорбционного вакуумного насоса - увеличить быстроту действия S_{00} с учетом других основных параметров, обеспечивающих откачку газа как температуры адсорбционного слоя $\bar{T}_{ад}$, экрана $T_э$, хладагента T , площади поверхности экрана $F_э$ и свойств откачиваемого газа [1].

Таким образом, выбор конструктивной схемы высоковакуумного криоадсорбционного насоса обусловлен необходимостью обеспечения откачки заданного потока газа при нормальных температурах, ограничении максимального рабочего давления и обеспечении заданного времени автономной работы [2,3]. Разрабатываемый КАВН предполагается для применения в портативном газовом хромато-масс-спектрометре, поэтому предложена горизонтальная схема проточной части (рис.1) с возможным отклонением от заданной ориентации не более чем на 15° .

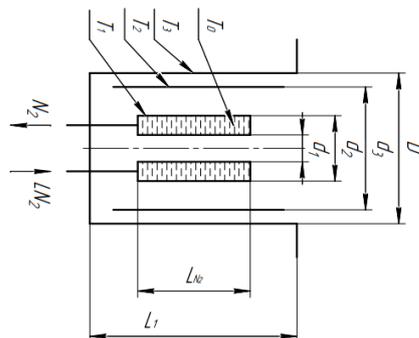


Рис.1. Расчетная схема КАВН для определения метода расчета основных его параметров.

Таким образом, проточная часть выполнена по схеме слоя адсорбента, размещенного на емкости с жидки азотом. С внешней стороны адсорбент закрыт пористым медным экраном.

МЕТОД РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОГАБАРИТНОГО КАВН

Допущения:

1. Основная рабочая часть – внутренняя поверхность цилиндра, покрытая адсорбентом.
2. Внешняя часть цилиндра – обеспечивает дополнительную откачку, снижает тепловую нагрузку.
3. Размеры экрана определяются проводимостью.

Расчет проводится итеративным путем [4]:

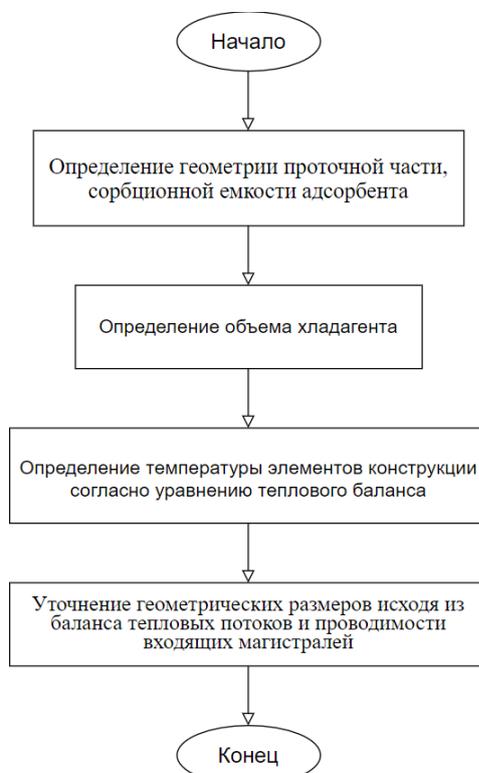


Рис.2. Алгоритм определения основных параметров малогабаритного криоадсорбционного вакуумного насоса.

На основе предложенного алгоритма разработан метод расчета основных параметров КАВН.

1. Определение размеров криопанели.

Криосорбционные насосы содержат криопанели в качестве откачивающих поверхностей. Откачивающие поверхности - криопанели расположены по периметру камеры.

Скорость откачки на поверхности $S_{\text{отк.пов-ти}}$ рассчитывается по зависимости

$$S_{\text{отк.пов-ти}} = \sqrt{\frac{R * T_{\text{г}}}{2 * \pi * M}}$$

где $T_{\text{г}}$ - температура газа в К, M - молярная масса (для воздуха 28,96 г / моль)

Размер криопанели будет определяться с помощью уравнения:

$$S_{\text{отк}} = A_{\text{крио}} * S_{\text{отк.пов-ти}} * \alpha * \left(1 - \frac{P}{P_{\text{кам}}}\right)$$

где $S_{\text{отк}}$ - скорость откачки,

$A_{\text{крио}}$ - размер криопанелей,

α - вероятность конденсации (откачки),

$S_{\text{отк.пов-ти}}$ - скорость откачки на поверхности,

P - предельное остаточное давление,

$P_{\text{кам}}$ - давление в вакуумной камере.

2. Расчет тепловой нагрузки

Криооткачка представляет собой создание и поддержание вакуума при сверхнизких температурах. Корпус криогенного насоса обычно находится при температуре окружающей среды, тогда как криопанель должна быть охлаждена. Таким образом, на криопанель всегда будет действовать тепловая нагрузка. Полная тепловая нагрузка Q , передаваемая к криоповерхности, состоит из суммы тепловых потоков, создаваемых теплопроводностью твердых тел, газовой теплопроводностью и тепловым излучением. Для рабочих криопотоков необходимо добавить тепловые нагрузки из-за криосорбции и/или криоконденсации. Эти результаты связаны с изменением энтальпии между температурой частиц и температурой фазового перехода ΔH_{cool} и самой энтальпией изменения фазы ΔH_p . Таким образом, общая тепловая нагрузка на панели рассчитывается по зависимости:

$$Q = Q_s + Q_g + Q_r + \Delta H_{\text{cool}} + \Delta H_p$$

где,

Q - Общая тепловая нагрузка,

Q_s - сплошная теплопроводность,

Q_g - газовая теплопроводность,

Q_r - Радиационный теплообмен,

ΔH_{cool} - изменение энтальпии фазового перехода.

Температуры и температуры фазового перехода,

ΔH_p - энтальпия изменения фазы.

Далее определяются тепловые нагрузки.

- Тепловая нагрузка в следствие теплопроводности

- Тепловая нагрузка, обусловленная газовой проводимостью для свободного молекулярного состояния

$$Q_g = G P A_1 (T_2 - T_1)$$

- Определяются площади внутреннего и внешнего цилиндров для уточнения газовой проводимости.
- Теперь газовая проводимость определяется следующим образом:

$$Q_g = G P A_1 (T_2 - T_1)$$

- Радиационная теплопередача.

В условиях молекулярного потока лучистое тепло со стороны процесса в вакуумной камере и корпусе насоса является основной тепловой нагрузкой на панели. Для нагревания насоса радиацией существует два требования. Во-первых, тепло должно выделяться из камеры, а, во-вторых, насос должен поглощать падающее излучение. Обе возможности должны быть сведены к минимуму с помощью конструкции. Радиационный теплообмен между двумя поверхностями A1 и A2 определяется,

$$Q_r = F_e F_{12} \sigma A_1 (T_2^4 - T_1^4)$$

- Передача энтальпии.

При откачке криопанель должна поглощать энергию входящих частиц, т. е. разность энтальпий для охлаждения между температурой перегородки и температурой панели и энергией, связанной с изменением фазы на последующей стадии иммобилизации. В данном случае изменение энтальпии и энтальпия изменения фазы довольно малы и они незначительны. Следовательно,

$$\Delta H_{cool} + \Delta H_{ph} = 0$$

- Тепловой поток определяется,

$$q = \frac{Q}{A_1}$$

3. Массовый расход хладагента

Для создания и поддержания требуемого давления, необходимо постоянно поддерживать температуру криопанели на протяжении всего времени работы насоса. Необходимо определить непрерывный массовый расход хладагента.

$$Q = m * l$$

где

m - массовый расход хладагента, кг/с;

l – длина теплового моста, м.

Использование данной методики позволяет получить насос, обеспечивающий непрерывную работу аналитического оборудования в течение заданного времени.

ВЫВОДЫ

В данной статье разработан метод расчета основных параметров криоадсорбционного вакуумного насоса для портативного хромато-масс-спектрометра, а также приведен алгоритм расчета и выбрана конструктивная схема. Использование данного метода позволяет получить насос, обеспечивающий непрерывную работу аналитического оборудования в течение заданного времени. Насос не требует

подключения к электросети, что делает его портативным, а также насос имеет достаточно маленький вес и удобен при транспортировке. Поскольку насос не имеет подвижных частей, его можно использовать в качестве безвибрационного вакуумного насоса. Аппарат прост в использовании и экономичен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуумная техника: Справочник. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., ред. Москва, Машиностроение, 2009. 590 с.

2. Очков А. А., Исаев А. В., Прудников С. Н. «Ресурс работы высоковакуумных цилиндрических криоадсорбционных насосов», Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана «Наука и образование», 2013

3. Исаев А.В., Куприянов В.И., Лунчев В.П., Чопов С.М. Малогабаритный криосорбционный насос // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика. 1979. Вып. 1 (7). С. 32-35.

4. Гордеева У.С. Концептуальное проектирование малогабаритного криоадсорбционного вакуумного насоса для применения в портативном газовом хромато-масс-спектрометре: обзор существующих решений и выбор конструктивной схемы // Труды 28-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА и ТЕХНОЛОГИИ – 2021», С.49