

СРАВНЕНИЕ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ МИКРОКРИОГЕННОГО ПУЛЬСАЦИОННОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

© 2016 С.О. Некрасова, Г.В. Соколов, А.А. Воробьев, А.А. Лопатин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

COMPARISON OF PULSE MICROCRYOGENICAL COOLING UNIT OPERATING PARAMETERS

Nekrasova S.O., Sokolov G.V., Vorobev A.A., Lopatin A.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The article deals with numerical modeling of two linear pulse microcryogenic cooling unit operating processes. Results are shown and discussed. Have been concluded optimum working parameters.

Изучение рабочих процессов в газовых криогенных машинах (ГКМ) в последнее время стало весьма актуальной и важной задачей. Высокая эффективность и компактность подобных устройств послужили причинами роста спроса на данный вид криогенных машин.

Криогенные пульсационные охладители (КПО) по сравнению с газовыми криогенными машинами различных типов (ГКМ Стирлинга или ГКМ Гиффорда-МакМагона) обладают конструктивным преимуществом, так как на холодном теплообменнике в таких устройствах отсутствует поршень-вытеснитель. Роль вытеснителя играет объём газа, колеблющегося в пульсационной трубе и разделяющего холодную и горячую полости. Дополнительное перемещение газового вытеснителя достигается за счёт применения ресиверного объёма и элемента гидросопротивления (дрозель-инерционная труба).

Подобные криоохладители применяются в технологическом процессе производства полупроводников, для ожижения газов и для охлаждения ИК-приёмников. Отсутствие поршня-вытеснителя на порядок повышает ресурс работы КПО по сравнению с ГКМ Стирлинга. Схема КПО представлена на рис. 1.

Целью работы является изучение рабочих процессов КПО с помощью методов численного моделирования. В работе был произведён анализ холодопроизводительности машины при различных направлениях и частотах движения поршня и выявлены графические зависимости основных параметров.



Рис. 1. Схема линейного криогенного пульсационного охладителя

Геометрические параметры КПО, исследуемого в данной работе, приведены в табл. 1. Расчёт проводился в САЕ-системе ESI-CFD. Была построена осесимметричная сеточная модель КПО, количество элементов сетки в которой составило порядка 12 тысяч. Движение поршня имитировалось при помощи задания зависимости перемещения стенки от времени по гармоническому закону. В первой схеме КПО движение поршня направлено параллельно оси устройства. Во второй схеме уравнение движения наложено на горизонтальную стенку компрессорной части КПО, и, таким образом, за счёт осесимметричности была получена схема с оппозитным расположением поршней.

Таблица 1 - Геометрические параметры и материалы элементов установки

Элемент	Радиус, мм	Длина, мм	Материал
Компрессор	45	35	-
Передающая труба	2,5	310	Нержавеющая сталь
Предохладитель	12,5	12,5	Медь
Регенератор	12,5	78	Нержавеющая сталь
Теплообменник нагрузки	7	2	Нержавеющая сталь
Пульсационная труба	7	84	Нержавеющая сталь
Холодильник горячий	7	5	Медь
Дроссель	-	-	Латунь
Инерционная труба	3	2200	Медь
Ресивер	70	13	Нержавеющая сталь

Три теплообменника и регенератор выполнены из пористых материалов, характеристики которых были заданы в программ-решателе. На стенки предохладителя и горячего теплообменника накладывались изотермические условия $T=300\text{K}$. На стенки ресивера и дросселя – адиабатные. Для остальных частей устройства принимались условия

теплообмена с окружающей средой.

Расчёт производился для частот движения поршня f : 25, 35, 60, 70, 100 Гц. Временной шаг в данной работе равен 0,0001 с. Произведён расчёт работы каждой модели за 20 с. Зависимость температуры в холодной части КПО от времени работы устройства представлена на рис. 2.

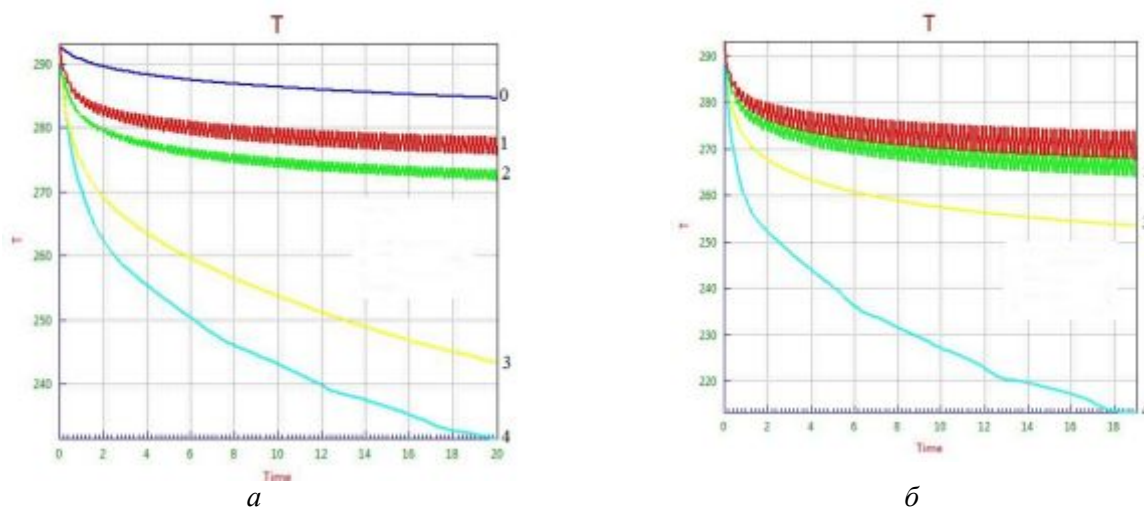


Рис. 2. Зависимость температуры T_x от времени работы КПО:
 а) горизонтальное расположение поршня; б) оппозитное расположение поршней
 0 – $f=100$ Гц; 1 – $f=25$ Гц; 2 – $f=35$ Гц; 4 – $f=60$ Гц; 5 – $f=70$ Гц

Из графиков видно, что частота 70 Гц является оптимальной для данной конструкции КПО, при которой $T_x=230\text{K}$ в первой схеме и $T_x=215\text{K}$ – во второй. Использование оппозитно-расположенных поршней позволяет увеличить интенсивность и скорость охлаждения.

Библиографический список

1. Архаров А.М. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов по специальности «Техника и физика низких

температур»: В 2 т. Т.1. Основы теории и расчёта. – М.: Машиностроение. 1996. 576 с.

2. Грезин А.К., Зиновьев В.С. Микрокриогенная техника. - М.: Машиностроение, 1977. 232 с.

3. Dion Savio Antao, Bakhtier Farouk Experimental and numerical investigations of an orifice type cryogenic pulse tube refrigerator Applied Thermal Engineering 50. 2013. P. 112-123.