

ЕФИ-709(24)-84

индекс 3624

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А.А.АРОЯН, Р.Т.МИНА

АДСОРБЦИОННЫЙ КРИОГЕННЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУР ~ 1 К ОТКАЧКОЙ ГЕЛИЯ -4



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕРЕВАН-1984

Для получения температур 0,3 - 4,2 К обычно применяются рефрижераторы откачки гелия, которые используют теплоту испарения хладагента [1,2,3]. Испарившиеся пары гелия откачиваются системой насосов, производительность которых определяет минимально достижимую температуру при данном теплопритоке. Обычно откачку ведут последовательно бустерным и механическим насосами с последующей конденсацией откачанного газа для непрерывного восполнения количества жидкого хладагента.

Эта схема откачки имеет следующие недостатки: во-первых, отогревшиеся до 300 К пары хладагента следует снова охладить до температуры ванны; во-вторых, необходимо применять сложные в эксплуатации блоки очистки с соответствующей системой их регенерации; в-третьих, приходится мириться с большим теплопритоком к низкотемпературной ванне, так как откачная труба должна быть большого проходного сечения; в-четвертых, используется механическое оборудование, которое обладает вибрацией и имеет ограниченный срок службы.

В последние годы широкое применение получили системы отка-

ки адсорбционными криогенными насосами [4,5]. Основными их достоинствами являются возможность внутреннего размещения насоса вблизи ванны с откачиваемым хладагентом, высокая удельная быстрота действия и отсутствие движущихся механических частей. Однако существующие в настоящее время адсорбционные криогенные рефрижераторы (АКР) — однократного действия, так как есть необходимость периодической регенерации адсорбента. В работах [6,7,8] предлагались конструкции АКР непрерывного действия, состоящие из двух и более насосов. Недостатками этих рефрижераторов являются низкая эксплуатационная надежность из-за наличия механических узлов, работающих при низких температурах, и невысокая холодопроизводительность ввиду просачивания газа из регенерируемого в откачивающий насос. Однако эти трудности преодолимы, если, например, в криостате разместить несколько АКР с отдельными ваннами, соединенными с охлаждаемым объектом тепловыми трубами [9]. Возможны, по-видимому, и другие конструктивные решения.

Настоящая работа предпринята с целью разработки и изготовления АКР однократного действия холодопроизводительностью

~ 25 мВт на уровень температур 0,9 — 1,5 К. На таком приборе предполагалось исследовать процессы адсорбции и десорбции хладагента на различных адсорбентах и соотношение времен откачки и регенерации криосорбционного насоса. Полученные данные, в свою очередь, позволят приступить к проектированию АКР непрерывного действия.

На рис. I схематически представлены АКР вместе с экспериментальной установкой для его исследования. Низкотемпературная

ванна I, представляющая собой медный стакан объемом 100 см³, соединяется тонкостенной нержавеющей трубой диаметром 20 мм с гнездом 2, в котором закрепляется сменный модуль адсорбента 3. Предварительная откачка ванны I и модуля адсорбента 3 производится через нержавеющую трубу 4 диаметром 60 мм. Ванна криосорбционного насоса 5 и конденсатор 6 соединены с гелиевым сосудом криостата 7 низкотемпературными вентилями 8,9, штоки которых выведены на капку 10. Теплообменник II изготовлен из 12-метровой нержавеющей трубки диаметром 4 мм и размещен в 6-миллиметровом зазоре откачных труб конденсатора 6 и ванны 5.

Все вышеперечисленные элементы расположены в вакуумной рубашке 12. АКР размещен в серийном криостате КТ-300/60 с входным отверстием 300 мм и емкостью гелиевого сосуда 60 л. Измеренная собственная испаряемость криостата составляет 180 л/ч.

В модуле адсорбента 3 содержалось 200 г активированного угля, который размещался на 15 медных пластинах с 20-миллиметровым зазором между ними. Все пластины припаяны к медной трубке с внутренним диаметром 50 мм и имеющей снаружи ленточную резьбу для увеличения поверхности теплового контакта с гнездом 2.

Для регенерации адсорбента и измерения холодопроизводительности рефрижератора на модуле адсорбента 3 и низкотемпературной ванне I намотаны проволочные нагреватели с сопротивлением 1000 и 250 Ом. На них, соответственно, могут быть выделены мощности до 10 Вт и 0,5 Вт. Для определения температур ванны I, конденсатора 6 и адсорбента предусмотрены соответственно угольные сопротивления и медно-константановая термопара, второй спай

которой находится при $T = 4,2$ К.

Захлаживание установки происходит следующим образом. В низкотемпературную часть АКР из газгольдера I3 через блок очистки I4 напускается газообразный гелий до давления ~ 100 кПа и начинается его циркуляция при включенной вакуумной агрегате АВР-I50 I5. В гелиевый сосуд криостата 7 заливается 10 л жидкого азота. Насос РВН-20 I6 откачивает холодные пары азота через ванну 5 и конденсатор 6 в атмосферу при открытых низкотемпературных вентилях 8,9. После охлаждения установки до $T = 77$ К остатки жидкости выдавливаются, а в гелиевый сосуд заливается 50 л жидкого гелия. Полное время захлаживания установки до температуры 4,2 К составляет 4 часа. Накопление гелия в ванне I происходит следующим образом. Пары жидкого гелия, передавливаемого в конденсатор 6 через вентиль 9, откачиваются внешними насосами и температура конденсатора понижается до 1,5 К. Газообразный гелий, поступающий из газгольдера I3 через блок очистки I4, охлаждается в теплообменнике II за счет теплоты отогрева откачиваемых паров и конденсируясь стекает в ванну I. В процессе конденсации ванна криосорбционного насоса 5 вакуумируется насосом РВН-20 I6 при закрытом вентиле 8, а модуль адсорбента 3 нагревается нагревателем до температуры ~ 40 К. Давление и температура в ваннах, конденсаторе и модуле адсорбента контролируются вакуумметрами и термометрами. Максимальная скорость конденсации гелия в ванне I по изменениям количества газа в газгольдере I3 в функции от времени составляла 15 л/мин. Дальнейшее понижение температуры сконденсированного гелия производится откачкой с помощью вакуумного агрегата АВР-I50 I5. В конце откачки, когда температура ванны I стабили-

зируется, в ней остается ~ 50 см³ жидкости, Дальнейшая откачка ведется криосорбционным насосом. Для этого выключается нагреватель, через вентиль 8 подается в ванну 5 гелий на охлаждение модуля и останавливается агрегат АВР-I50.

Исследования холодопроизводительности рефрижератора проводились как при откачке паров хладагента вакуумным агрегатом АВР-I50, так и криосорбционным насосом. Результаты приведены на рис.2. Как видно, минимально достижимая температура при откачке агрегатом АВР-I50 (кривая 1) и криосорбционным насосом (кривая 2) составляет соответственно 1,2 К и 0,9 К. Устойчивая откачка криосорбционным насосом паров хладагента наблюдалась в достаточно широком интервале выделяемой мощности нагревателем до 25 мВт, что соответствует потоку газа 0,5 л/мин при нормальных условиях. Адсорбционная ёмкость модуля адсорбента 3 оказалась достаточной для двух часов работы при холодопроизводительности 15 мВт.

На рис.3 приведена зависимость испаряемости хладагента из ванны I от выделяемой на ней мощности. Кривая получена при измерении потока паров гелия при откачке вакуумным агрегатом АВР-I50. Температура ванны I составляла $\sim 1,2$ К, а конденсатора 6 варьировалась от 4,2 до 40 К. Эти измерения позволяют найти паразитный теплоприток к ванне I, как отношение потока паров гелия к теплоте испарения. Видно, что он составляет ~ 15 мВт. Такой большой теплоприток, вероятно, связан с наличием сверхтекучей пленки гелия, так как нагрев гнезда 2 без модуля адсорбента 3 до 40 К практически не влияет на теплоприток к ванне I.

В АКР исследовалась регенерация гелия из модуля адсорбента 3, с последующей его конденсацией на стенках откачной трубы, при температуре конденсатора 1,5 К. На модуле адсорбента 3 нагревателем выделялась мощность в интервале от 1 до 10 Вт. Скорость наполнения жидкого гелия в ванне I составляла 2 л/мин при давлении насыщенных паров не более 1 кПа.

Итак, в результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Выбранная конструкция АКР позволяет при использовании в качестве рабочего газа гелия-4 получить холодопроизводительность 25 мВт при $T \sim 0,9$ К.

2. Соотношение измеренных скоростей откачки и регенерации гелия позволяет осуществить циклический режим, при котором 2 часа работы сопровождаются регенерацией в течение 0,5 часа.

3. Конструктивным совмещением двух АКР откачки гелия-4 в одном криостате можно добиться непрерывного поддержания температуры 0,9 К.

4. Применение в качестве хладагента гелия-3, по-видимому, позволит получить температуру 0,3 К при приблизительно той же холодопроизводительности.

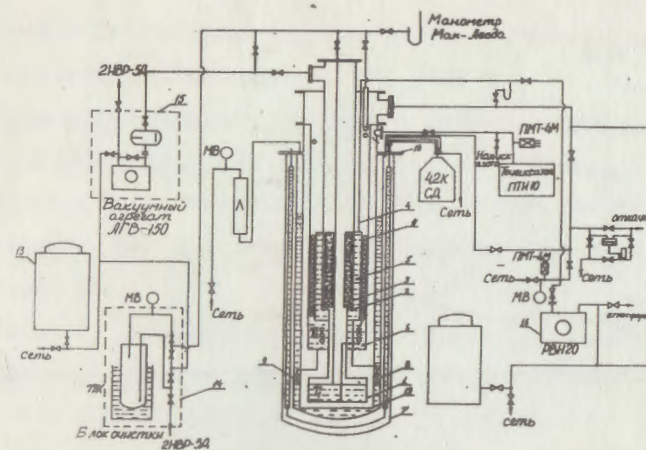


Рис. I АКР вместе с экспериментальной установкой для его исследования.

- I - низкотемпературная ванна,
- 2 - гнездо,
- 3 - модуль адсорбента,
- 4 - нержавеющая труба,
- 5 - ванна криосорбционного насоса,
- 6 - конденсатор,
- 7 - серийный криостат КГ-300/60,
- 8, 9 - низкотемпературные вентили,
- 10 - крышка (верхний фланец криостата),
- 11 - теплообменник,
- 12 - вакуумная рубашка,
- 13 - газгольдер,
- 14 - блок очистки,
- 15 - вакуумный агрегат АР-150,
- 16 - форвакуумный насос РВН-20.

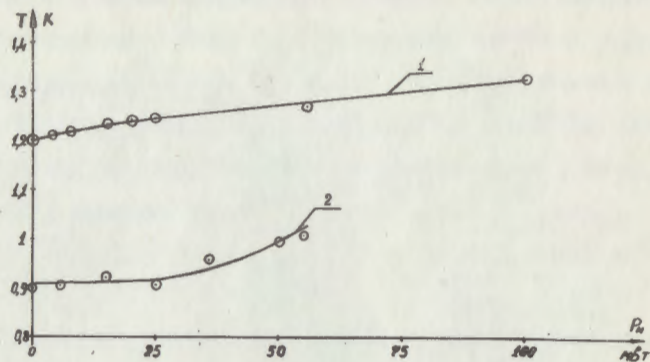


Рис.2 Зависимость температуры ванны I от выделяемой на ней мощности.

Кривая I - откачка вакуумным агрегатом АВР-150.

Кривая 2 - откачка криосорбционным насосом.

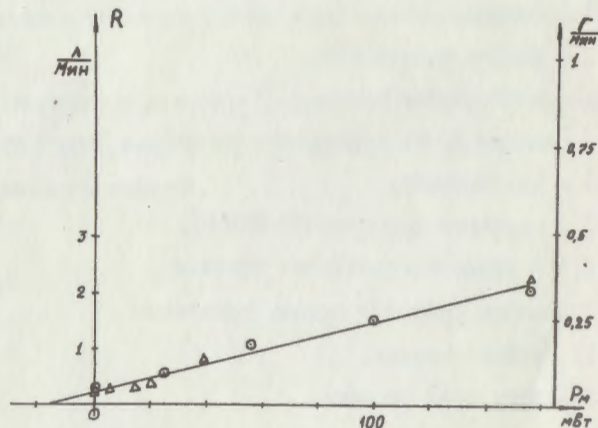


Рис.3 Кривая зависимости испаряемости гелия-4 из ванны I от выделяемой на ней мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швец А.Д. Получение температур ниже 1 К методом откачки паров над жидким гелием-4. ПТЭ 1965(5).
2. Швец А.Д. Использование жидкого гелия-3 для получения температур до 0,3 К. ПТЭ 1965 (6).
3. Raubeau P., Vermeulen J. Continuous flow horizontal cryostat for organic polarized targets. *Cryogenics*, 1971, NC p.478-482.
4. Хэфер Р. Криовакуумная техника. М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Kittel P., Brooks W.F. A He^3 refrigerator Module, *Physica* 1981, N.108B, p.1111-1114.
6. Berton A., Chaussy J., Gianese P. Improvements in relation to adsorption cryogenic pump devices. France 1978 F25B17/00 patent N1502214.
7. Tambovtsev T., Gonin N., Kozlovskii L. Proc.7-th Int.Vac. Congr. (1977) A2671
8. Мина Р.Т., Ароян А.А., Мовсесян Г.Д. Адсорбционный криогенный рефрижератор непрерывного действия. А.С. № 918724, ОИПОТЗ № 13, 1982.
9. Мина Р.Т., Ароян А.А. Адсорбционный криогенный рефрижератор непрерывного действия. А.С. № 966450, ОИПОТЗ, № 38, 1982. 25 В 17/08 № 966450 15.10.82.

Рукопись поступила 9 февраля 1984 г.