

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



A-233

18/viii-75

P8 - 8850

3033/2-75

Н.Н.Агапов, В.А.Белушкин, А.Г.Зельдович

МНОГОЦЕЛЕВОЙ ГЕЛИЕВЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР

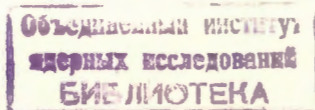
**1975**

P8 - 8850

Н.Н.Агапов, В.А.Белушкин, А.Г.Зельдович

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ГЕЛИЕВЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР

Направлено в журнал "Криогенное, кислородное и автогенное машиностроение"



### S u m m a r y

The helium refrigerator for cooling a large superconducting system is described. The refrigerator has a helium expansion engine and uses liquid nitrogen for precooling. It can work both in the liquefaction and in the refrigeration mode. The refrigerator can produce liquid helium at the boiling temperature as well as supercooled one. There exists the possibility to control the expansion engine flow, to get optimum results at special mode: cooling of magnet with making of liquid helium at the same time. Capacity of the refrigerator is 240 W. Some of characteristics of the refrigerator are shown.

Для термостатирования крупных сверхпроводящих устройств в Объединенном институте ядерных исследований создан многоцелевой гелиевый рефрижератор /МГО/, работающий по циклу с предварительным охлаждением жидким азотом, расширением в поршневом детандере, и дросселированием сжатого газа. Установка может быть использована для работы в нескольких режимах:

- 1/ термостатирование жидким гелием при температуре 4,5 К;
- 2/ термостатирование гелием при сверхкритическом давлении и температуре 4,5 К;
- 3/ ожижение гелия.

Принципиальная схема МГО представлена на *рис. 1*. Поток сжатого гелия проходит последовательно теплообменник 1, ванну жидкого азота 2, теплообменник 3 и затем разделяется на две части, одна из которых расширяется в детандере 5, а другая после охлаждения в теплообменниках 4 и 6 дросселируется в вентиле Д1. Получаемая при дросселировании парожидкостная смесь сепарируется в сборнике жидкого гелия 7. Подача гелия в термостатируемый объект осуществляется вентилем В1, а возврат из объекта в рефрижератор - вентилем В2. Обратные потоки из детандера, сборника и объекта отводятся через теплообменники на компрессор.

В режиме термостатирования жидкостью гелий, подаваемый в объект, дросселируется в вентиле Д2 до давления чуть выше, чем давление в сборнике, и конденсируется в змеевике 8. При термостатировании гелием с сверхкритическим давлением нужное давление поддерживается с помощью вентилях Д2, В1 и В2. Возможен также режим термостатирования при отсутствии жидкого гелия в сборнике /т.е. при закрытом вентиле Д1/. В таком случае сборником и отделителем жидкости служат емкости самого объекта.

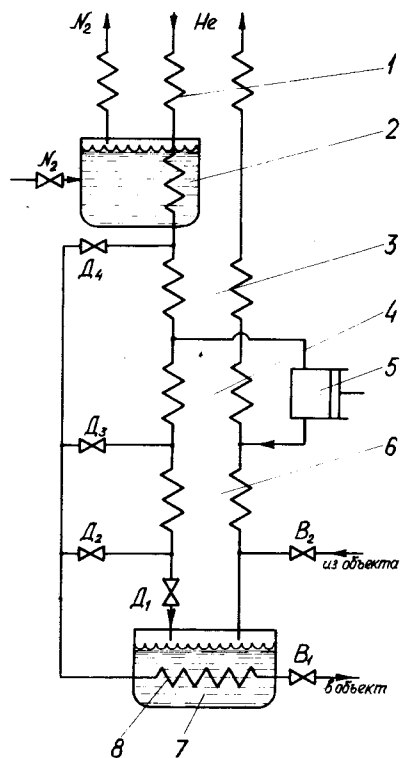


Рис. 1. Принципиальная схема рефрижератора. 1,3,4,6 - теплообменники; 2 - ванна жидкого азота; 5 - детандер; 7 - сборник жидкого гелия; 8 - змеевик.

Режим охижения с отводом жидкого гелия потребителю отличается от рассмотренного выше режима термостатирования тем, что холодные пары из объекта не возвращаются в рефрижератор.

При работе установки в комплексе с сверхпроводящими устройствами часть паров гелия с температурой 4,5 К отводится через токовводы на уровень температуры окружающей среды. Такой режим является комбинированным: термостатирование с одновременным охижением. Подобный режим осуществляется и в период накопления жидкого гелия в криостатах объекта.

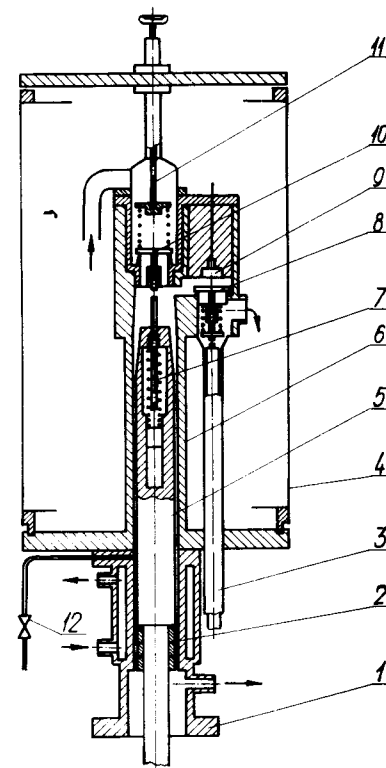


Рис. 2. Схема цилиндрической части детандера. 1 - "теплый" цилиндр; 2 - поршневое уплотнение; 3 - привод выпускного клапана; 4 - вакуумный кожух; 5 - поршень; 6 - "холодный" цилиндр; 7 - привод впускного клапана; 8 - клапан выпуска; 9 - датчик давления; 10 - клапан впуска; 11 - регулятор отсечки впуска; 12 - вентиль на линии утечек.

С целью регулирования темпа охижения объекта, а также для проведения этого процесса наиболее экономичным образом в схеме установки предусмотрены обводные линии. При охижении гелий в объект подается последовательно через вентиль  $D_4$  при температуре объекта от 300 К до 100 К, через вентиль  $D_3$  - при температуре объекта от 100 К до 20 К и через вентиль  $D_2$  - при температуре от 20 К до 4,5 К.

Изменение режима работы установки вызывает необходимость изменять количество газа, подаваемого на детандер. Возможность глубокого и плавного регулирования производительности поршневого детандера без снижения к.п.д. оказалась решающей при выборе типа расширительной машины.

Общий вид установки представлен на рис. 3. Детандер вынесен из блока ожигения и соединен с ним трубопроводами с экранно-вакуумной изоляцией. Такое решение существенно упрощает обслуживание и ремонт детандера. Так, в процессе эксплуатации удавалось произвести полный отогрев детандера с разборкой и заменой вышедших из строя узлов и через 4-5 часов вновь ввести установку в рабочий режим.

Детандер по компоновке повторяет схему машин для умеренно низких температур: "холодный" цилиндр расположен над механизмом движения. Этим детандер резко отличается от гелиевых машин, которые, как правило, строятся по схеме, впервые примененной П. Л. Капицей<sup>1/1</sup>, где "холодные" части детандера располагаются под "теплыми", работающими при комнатной температуре. Схема цилиндрической части детандера показана на рис. 2. Клапан впуска 10 снабжен приводом 7, расположенным в поршне 5; клапан выпуска 8 имеет привод от кулачкового вала. Регулятор отсечки впуска 11 позволяет в широких пределах, более чем в два раза, изменять производительность машины. В качестве поршневого уплотнения использованы кожаные манжеты 2. Радиальный зазор между поршнем и цилиндром около 0,1 мм. Диаметр цилиндра детандера 65 мм, ход поршня 160 мм, число оборотов до 350 об/мин.

Детандер прост и достаточно надежен в эксплуатации, однако адиабатный к.п.д. его, определенный по параметрам газа перед и после машины, не превышает 0,7, а тот же к.п.д., вычисленный исходя из теплового баланса установки, составляет 0,6-0,65. Дополнительные потери возникают вследствие тепло- и массообмена между газом в рабочем объеме и газом в щели поршень-цилиндр, а также в результате пульсаций газа в зазорах стыковых соединений трубопроводов.

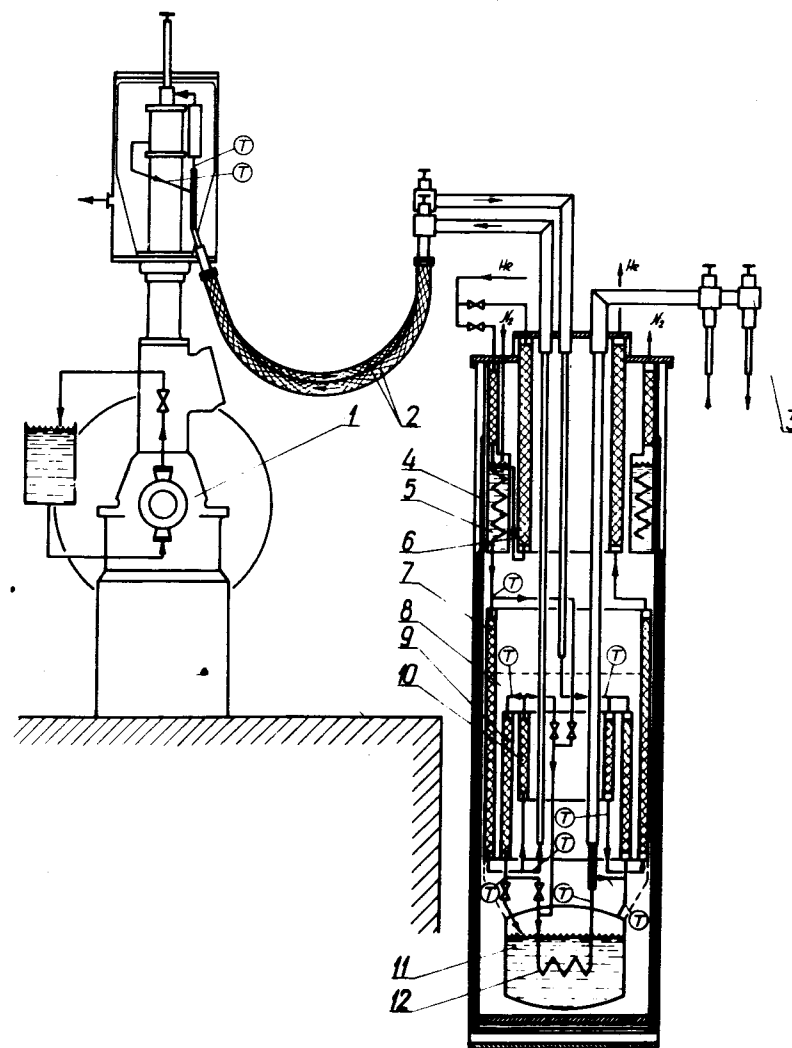


Рис. 3. Общий вид рефрижератора. 1 - детандер; 2 - гибкие соединительные трубопроводы; 3 - вентили на линиях, соединяющих рефрижератор с объектом; 4 - изоляционный кожух; 5 - азотный теплообменник; 6, 7, 9, 10 - теплообменники; 8 - азогель; 11 - сборник жидкого гелия; 12 - змеевик; T - точки замера температуры.

Блок ожижения /рис. 3/ собран в металлическом сосуде Дьюара 4 с экранно-вакуумной изоляцией и активированным углем в качестве адсорбента. Раз в год вакуумное пространство откачивается форвакуумным насосом до давления  $5 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст. в течение нескольких часов; в процессе работы откачка не производится. Холодный активированный уголь обеспечивает вакуум  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  мм рт.ст. Почти все теплообменники блока однотипны: поперечно-точные, из ребристых труб, заключенных между двумя коническими обечайками. Между трубками проложены прокладки из хлопчатобумажного шнура. Исключение составляет азотный теплообменник 5, состоящий из двух обечаек цилиндрической формы, между которыми с помощью шнека образован спиральный канал для паров азота. Внутри канала помещена ребристая трубка для сжатого гелия. Нижняя, расширенная часть теплообменника образует азотную ванну. Для сокращения габаритов блока по высоте теплообменники вставлены друг в друга. Все теплообменники находятся в атмосфере гелия под газгольдерным /около 150 мм вод. ст./ давлением. С целью устранения конвективных токов между аппаратами, имеющими разную температуру, свободное пространство между теплообменниками 7,9,10 и сборником жидкого гелия 11 засыпано азогелем. Габаритные размеры блока ожижения  $\phi 800 \times 2700$  мм, масса около 1800 кг.

Продолжительность пускового периода установки 3,5 часа. Холодопроизводительность в рефрижераторном режиме 240 Вт при расходе сжатого гелия  $1200 \text{ нм}^3/\text{час}$  и жидкого азота 50 л/час. В ожижительном режиме установка вырабатывает 60 л/час жидкого гелия при расходе сжатого газа около  $1000 \text{ нм}^3/\text{час}$  и жидкого азота 65 л/час. На рис. 4 представлена характеристика рефрижератора при работе в комбинированных режимах.

Авторы пользуются случаем выразить глубокую благодарность сотрудникам криогенного отдела Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, принимавшим участие в этой работе.

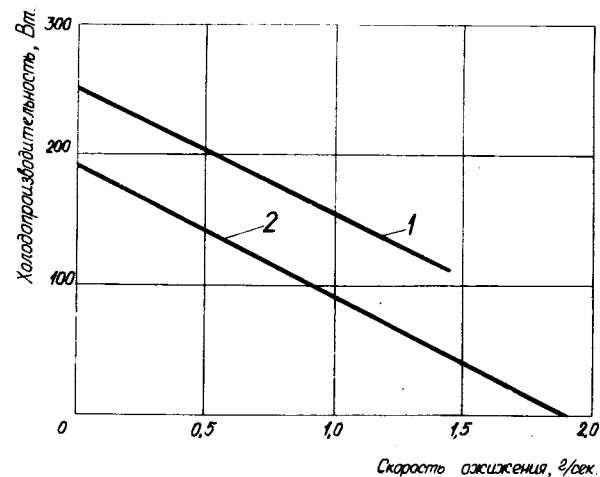


Рис. 4. Характеристика рефрижератора при работе в комбинированных режимах:  
1 - при расходе сжатого гелия 60 г/с; 2 - при расходе сжатого гелия 44 г/с.

#### Литература

1. П.Л.Капица, И.Б.Данилов. ЖТФ, XXXI, вып. 4, 486-491 /1961/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 мая 1975 года.