

ՏՈՒՆՆԵՐ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԶԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍՏԱՆԱԿԱՆ ԿՈՄՄՈՒՆԻԿԱՆԵ

ԷՓԻ-152(75)

Կ.Ս. ԱԳԱԲԱԲՅԱՆ, Ր. Դ. ՄԻՆԱ,

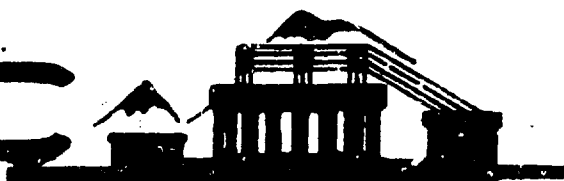
ԿՈՆԴԵՆՍԱՑԻԱ ՎՈԴՐՈԴԱ, ՍՈՍՏՄԱՆՈՒՄԵ
ՍԱՄՈՒՏԵԿՈՄ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1975

ԵՐԵՎԱՆ



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ- 152 (75)

К.Ш.АГАБАБЯН, Р.Т.МИНА

КОНДЕНСАЦИЯ ВОДОРОДА, ПОСТУПАЮЩЕГО
САМОТЕКОМ

Ереван 1975

© *Ереванский физический институт, 1975*

В работе [1] было установлено, что ожижитель водорода, использующий теплоту отогрева паров жидкого гелия, должен иметь конденсатор и теплообменник. В конденсаторе водород ожижается, а пары гелия отогреваются от T_{c_1} до T . В теплообменнике гелий отогревается, а водород охлаждается в одинаковом температурном интервале от комнатной температуры до T . Весовые отношения количества гелия и водорода, при теплообмене которых осуществляется указанный режим, были названы коэффициентом ожижения R_m конденсатора и коэффициентом охлаждения G_m теплообменника, причем при $T = T_{c_2} = 20,4^\circ\text{K}$ ($p = P = 1\text{атм.}$) $R_m = 5,03$, $G_m = 2,45$. Таким образом, для ожижения охлажденного водорода требуется примерно вдвое больше гелия, чем для его предварительного охлаждения до температуры конденсации, что, в принципе, позволяет использовать половину потока гелия после конденсатора, например, для охлаждения теплового экрана.

Схема ожижителя, в которой учтено сказанное выше, имеет вид, представленный на рис.1. Жидкий гелий в ванне под действием тепловой нагрузки q_1 испаряется и лоток паров гелия

$$G_1 = G_1' + G_1'' \quad (1)$$

поступает по сифонной трубке в конденсатор К. После конденсатора он разветвляется примерно пополам на

теплообменник T и охладитель теплового экрана E . Встречный поток водорода G_2 проходит через теплообменник в конденсатор, где и охлаждается. В стационарных условиях необходимо принудительно регулировать потоки G_1 и G_2 таким образом, чтобы они были взаимно пропорциональны. Удобнее, однако, когда водород поступает снаружи самотеком благодаря разрежению в конденсаторе, возникающему из-за непрерывного охлаждения водорода. При достаточно больших потоках гелия перепад давления на теплообменнике может стать весьма значительным. При этом уменьшается температура конденсатора, и соответственно количество тепла, уносимого потоком гелия, т.е. эффективность охлаждения падает.

Однако, указанный режим, благодаря простоте его реализации, заслуживает более подробного рассмотрения, что является целью настоящей работы.

При всех рассматриваемых значениях потоков G_1 и G_2 конструкции: конденсатора и теплообменника предполагаются такими, что недорекуперацией можно пренебречь, а температуру конденсатора T можно считать приблизительно равной температуре паров водорода

Тепловой баланс конденсатора определяется уравнением

$$C_{p1} (T - T_{c1}) G_1 = q_2 + h_2 G_2. \quad (2)$$

Поток водорода равен

$$G_2 = F_2 (P - p). \quad (3)$$

В интервале $14^\circ\text{K} < T < 20,4^\circ\text{K}$ величины C_{p1} и h_2 практически не зависят от T [2]. Зависимость $P(T)$ с точностью 10% может быть представлена эмпирической формулой

$$P/P_0 - 1 = 46.2 \cdot (T/T_0 - 1)^2, \quad (4)$$

где $P_0 = 60$ тор и $T_0 = 13,6^\circ \text{K}$.

На рис.2 приведена кривая $P(T)$, отвечающая уравнению (4) и нанесены данные из [2]. Величины P_0 и T_0 несколько ниже тех значений давления и температуры, при которых водород замерзает. В дальнейшем при выводе условия (7) этим отличием пренебрегаем.

Из уравнений (2) - (4) следует

$$T = T_0 - q + \sqrt{q^2 - 2(T_0 - T_{c1})q + t^2}, \quad (5)$$

где $q = (C_{p1} T_0^2 / 92,4 \cdot h_2 P_0)(G_1 / F_2) = A(G_1 / F_2)$;

$$t^2 = (P - P_0) T_0^2 / 46,2 P_0 + (T_0^2 / 46,2 h_2 P_0)(q_2 / F_2) = \\ = B + C(q_2 / F_2).$$

$$A = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ град/тор}$$

$$B = 46,7 \text{ град}^2$$

$$C = 6 \cdot 10^{-4} \text{ град}^2 \text{ г/тор кал.}$$

Найденная с помощью формул (4) и (5) зависимость $P(q, t^2)$ показана на рис.3. Поскольку q пропорционально G_1 , видно, что давление P и соответственно температура T конденсатора уменьшаются с увеличением потока гелия G_1 . В свою очередь это приводит к пропорциональному увеличению коэффициента ожижения

$$R_m = G_1 / (G_2 + q_2 / h_2) = h_2 / C_{p1} (T - T_{c1}). \quad (6)$$

Однако из уравнения (6) видно, что если даже водород будет близок к замерзанию, расход гелия на ожижение водорода возрастает

лишь в $(20,4^{\circ}\text{K}-4,2^{\circ}\text{K}) / (14^{\circ}\text{K}-4,2^{\circ}\text{K}) = 1,6$, раза.

Из рис.3 видно, что для каждого значения q_2 имеется максимальная величина потока гелия G_1^{\max} , выше которой водород в конденсаторе замерзает. Из уравнения (4) следует, что $T \approx 14^{\circ}\text{K}$, когда $t^2 = 2(T_0 - T_{c1})q$. Это условие позволяет найти

$$G_1^{\max} = a F_2 + b q_2, \quad (7)$$

где $a = V/2A(T_0 - T_{c1}) = 3,36 \cdot 10^3 \text{ тор}$

$$b = C/2A(T_0 - T_{c1}) = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ г/кал}$$

Таким образом, при заданной тепловой нагрузке на конденсатор, холодопроизводительность оживителя водорода, поступающего самотеком, определяется проходным сечением канала, по которому поступает водород. Использование критерия (7) позволяет по заданной величине G_1^{\max} оценить F_2 и учесть это значение при расчете теплообменника и конденсатора.

Полученные результаты имеют общий характер. Если конденсация водорода производится на поверхности рефрижератора, теплосъем на которой происходит в соответствии с уравнением (2), то зависимости $T(q)$ (решение (5)) и, соответственно, $P(q)$ (график рис.3) имеют такой же характер. Аналогично можно установить критерий подобный (7).

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Арустамову М.Е. за деятельную помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- R_m - коэффициент ожижения, равный весовому отношению потоков гелия и водорода [1] .
- G_m - коэффициент охлаждения, равный весовому отношению потоков гелия и водорода [1] .
- T - температура конденсатора
- T_c - температура конденсации
- p - давление водорода в конденсаторе
- P - 760 тор - атмосферное давление
- Q_1 - тепловая нагрузка на гелиевую ванну
- Q_2 - тепловая нагрузка на конденсатор
- G - поток газа
- C_p - теплоёмкость
- h - теплота испарения
- F_2 - пропускная способность конденсатора и теплообменника для водорода

$p_0 = 60$ тор и $T_0 = 13,6^\circ K$ - константы эмпирического уравнения (4).

$q : t^2 : A : B : C$ - величины из уравнения (5)

$a : b$ - константы из уравнения (7).

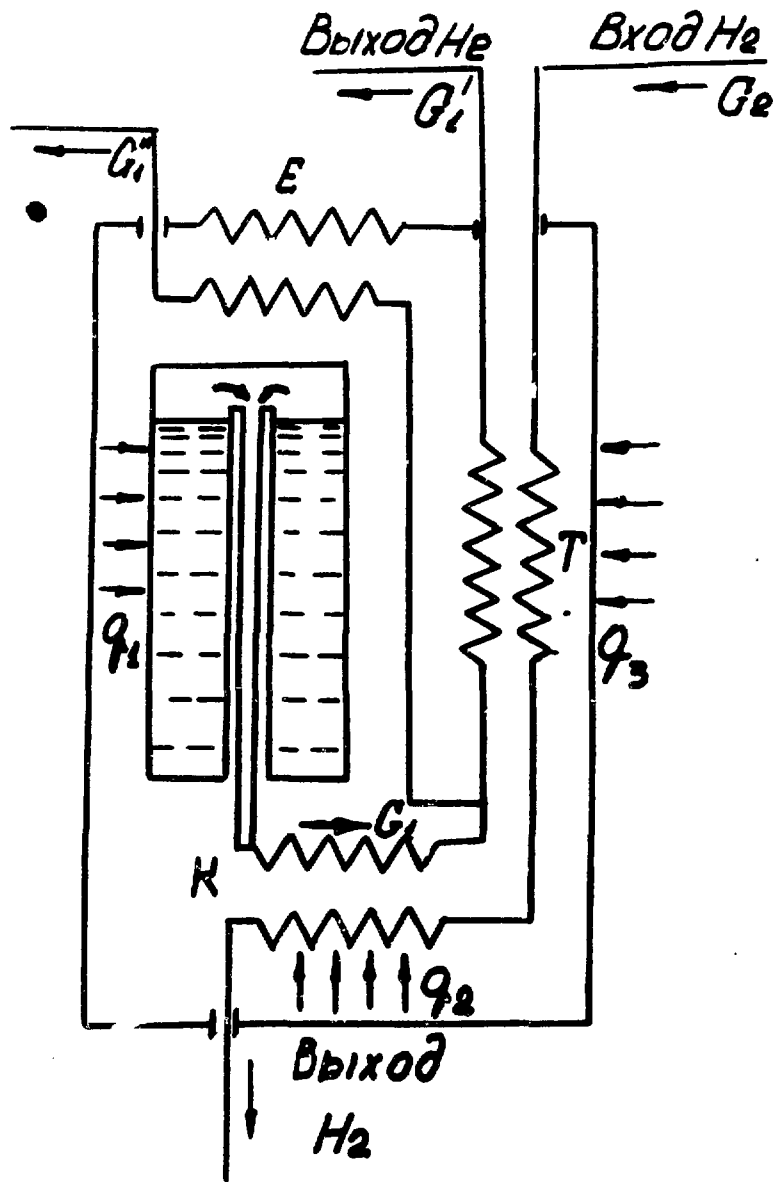
Знаки 1 или 2 при величинах означают, что последние относятся к гелию или водороду соответственно.

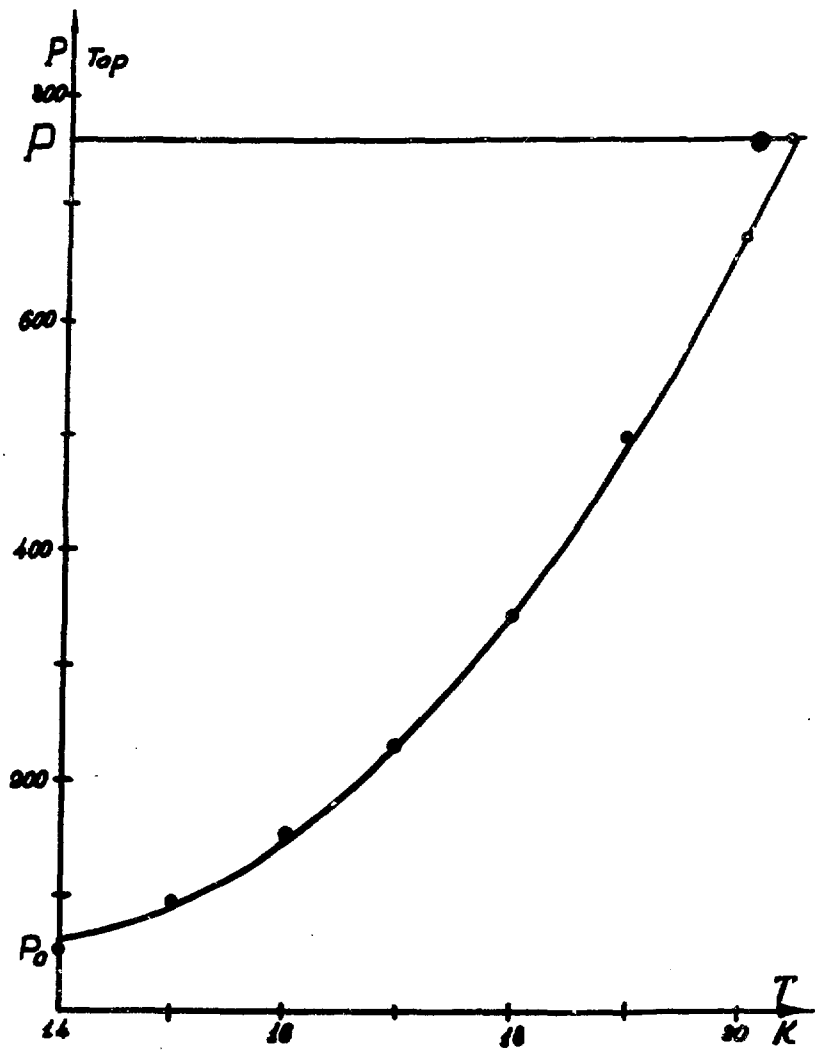
ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

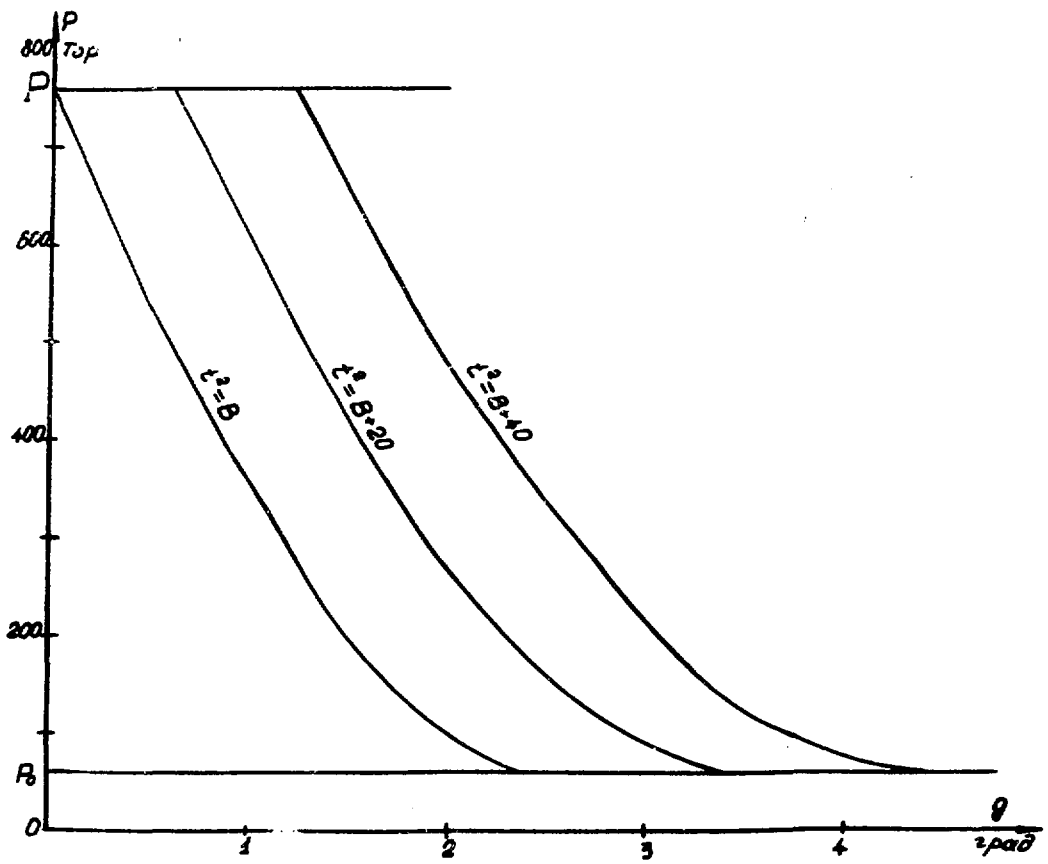
Рис.1 Схема ожижителя водорода, использующего тепло-
ту отогрева паров жидкого гелия. К-конденсатор.
Т-теплообменник. Е-охладитель теплового экрана
 Q_1 , Q_2 и Q_3 - тепловые нагрузки на гелиевую
ванну, конденсатор и теплообменник соответ-
ственно. G_1 , G_1' и G_1'' - потоки гелия и G_2 -по-
ток водорода.

Рис.2 Зависимость давления P влажного пара водорода
от температуры T , описываемая эмпирической
формулой (4). Точки на кривой-экспериментальные
данные из [2] .

Рис.3 Рассчитанная зависимость давления P водорода
в конденсаторе от приведенных значений потока
гелия Q и тепловой нагрузки Q_2 (см.формулу
(5)).







ЛИТЕРАТУРА

1. Р.Т.Мина. Препринт ЕФИ-142(75)
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники "Энергия", Москва, 1973.

Рукопись поступила 2-го октября 1975 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 372

ВФ-03489

Тираж 299

Подписано к печати 2/ХП-75

Формат издания 30x40

0,7 уч.изд.л. Ц. 5 к.

Отпечатано на ротапринтере
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Марка-
ряна 2

