

5U7702530

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳՐԱԿԱՆ ԶԱՆՈՐԴՈՒՄ НАУЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

ЕФИ—142(75)

Р.Т.МИНА

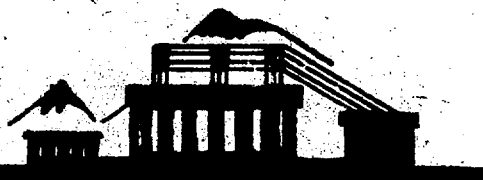
ОЖИЖЕНИЕ ВОДОРОДА ЗА СЧЕТ  
ИСПАРЕНИЯ ГЕЛИЯ

АРУС

ԵՐԵՎԱՆ

1975

ЕРЕВАН



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-142(75)

Р.Т.МИНА

ОЖИЖЕНИЕ ВОДОРОДА ЗА СЧЕТ  
ИСПАРЕНИЯ ГЕЛИЯ

Ереван 1975

© *Ереванский физический институт, 1975*

В настоящее время, когда широкое распространение приобрели гелиевые ожижители, получать небольшое количество жидкого водорода в лабораторных условиях проще за счет испарения жидкого гелия [1÷4]. Чтобы определить, насколько экономичен такой способ, надо знать, какое количество гелия следует испарить, чтобы ожижить, например, один литр водорода. К сожалению, этой стороне вопроса в работах [1÷3] не было уделено достаточного внимания, а в работе [4] был проведен ошибочный расчет и, что более удивительно, получены хорошо согласующиеся с ним экспериментальные данные. Цель настоящей работы — внести ясность в понимание этой задачи и получить необходимые количественные соотношения.

Процесс передачи тепла от водорода к гелию осуществляется в теплообменнике. В той его части, где температура гелия ниже температуры конденсации водорода, происходит ожижение. На остальной части водород охлаждается. Назовем первую из них конденсатором, сохранив название "теплообменник" для другой части. В конденсаторе гелий испаряется и его температура растет от 4,2 до 20°K, а водород ожижается при неизменной температуре, равной 20,4°K. В теплообменнике температура гелия повышается, а температура водорода понижается в одинаковом температурном интервале от 20,4 до 300°K. Таким образом, предполагается, что нет недорекуперации на входе и выходе теплообменника. Возможность осуществления такого режима работы будет установлена далее.

Назовем коэффициентом ожигения  $L_m$  конденсатора и коэффициентом охлаждения  $G_m$  теплообменника весовое отношение количества гелия и водорода, при теплообмене которых осуществляется указанный выше температурный режим. Найдем численные значения этих коэффициентов.

Для теплообменника, если пренебречь падением давления на нем, справедливо [5] соотношение

$$m' \Delta h' = m'' \Delta h'' \quad (1)$$

где  $m'$  и  $m''$  — массопотоки газов, участвующих в теплообмене,  $\Delta h'$  и  $\Delta h''$  — разность величин удельной энтальпии каждого из газов на концах теплообменника. Одним штрихом помечены величины, относящиеся к гелию, а двумя штрихами к водороду. Использовать соотношение (1) можно, если температурный напор в любом сечении теплообменника имеет один и тот же знак, или, проще говоря, один из газов везде теплее другого. При этом условии информация о температуре концов теплообменника достаточна, чтобы найти коэффициенты  $L_m$  и  $G_m$ .

По определению и из соотношения (1) следует

$$L_m = m'_e / m''_e = \Delta h''_e / \Delta h'_e ; G_m = m'_t / m''_t = \Delta h''_t / \Delta h'_t . \quad (2)$$

Здесь знаками  $e$  и  $t$  обозначены величины, относящиеся соответственно к конденсатору и теплообменнику.

На рис.1 показаны температурные зависимости удельной энтальпии гелия (кривая 1) и водорода (кривая 2) при давлении 1 атм. Начало отсчета энтальпии ведется от значения, которое имеют эти газы в жидком состоянии при температуре конденсации. Все данные взяты из  $T-S$  диаграммы [6].

Из соотношений (2) и данных рис.1 с учетом температурного режима конденсатора следует, что  $L_m = 4,08$ . При изменении масштаба по оси ординат в  $L_m$  раз кривая (1) трансформируется в кривую (3), которая пересекается с кривой (2) в точке  $T = 20,4^\circ\text{K}$ .

Кривая (1) при изменении масштаба по оси ординат в  $G_m$  раз и перемещении вдоль той же оси трансформируется в кривую (4), которая пересекается с кривой (2) только в точках  $T = 20,4^\circ\text{K}$  и  $300^\circ\text{K}$ , а внутри этого температурного интервала везде левее последней. Это означает, что температурный режим теплообменника с нулевой недорекуперацией на его концах можно осуществить. Из данных рис.1 следует  $G_m = 2,45$ .

Сравнение  $L_m$  и  $G_m$  показывает, что для ожижения охлажденного водорода требуется почти вдвое больше гелия, чем для его охлаждения от комнатной температуры до температуры конденсации. Поэтому соотношение потоков гелия и водорода, равное  $L_m = 4,08$ , является доминантным для решения задачи, рассматриваемой в этой статье

В работе [4] не была выявлена необходимость строгого учета характера теплообмена до температуры конденсации водорода. В результате было получено значение  $\tilde{L}_m = 2,6$ , заключенное между  $L_m$  и  $G_m$ . Ошибочность  $\tilde{L}_m$  видна хотя бы из рис.1 работы [4], где показан температурный режим теплообменника при этом отношении потоков. Кривые энтальпии гелия и водорода пересекаются, а это означает, что внутри интервала от  $20,4^\circ\text{K}$  до  $100^\circ\text{K}$  холодный гелий "теплее" теплого водорода. Экспериментальное подтверждение неверного коэффициента ожижения не следует принимать всерьез, так как в реальных конструкциях теплообменников отношение потоков всегда должно быть больше теоретического.

Когда для ожижения водорода используется только отогрев паров гелия от  $4,2^\circ\text{K}$  до  $20^\circ\text{K}$ , весовое отношение потоков  $R_m = 5,03$ . В таблице приведены коэффициенты

$L_m$ ,  $R_m$  и  $G_m$ , а также их выражения, когда потоки взяты в отношении объемов жидкостей ( $L_v, R_v$  и  $G_v$ ) и объемов газов при нормальных условиях ( $L_g, R_g$  и  $G_g$ ).

Определить величину коэффициента ожигения  $R$  из данных работ [1] и [3] не представляется возможным.

Однако, из работы [2] можно сделать косвенную оценку. При испарении около 3 л жидкого гелия в течение 2 часов заполнялась жидким водородом мишень объемом в 1 л. Тепловые потери за счет теплоподвода к мишени были заметно меньше 0,13 л/час. Это даёт основание пренебречь ими. В других местах описания работы [2] указывается, что общее количество жидкого водорода не превышало 0,5 л и что мишень никогда не заполнялась полностью. Поэтому можно сделать вывод, что  $3 < R_v^{эксн} < 6$ , который не противоречит  $R_v = 2,85$ .

Отношения  $L_m$  и  $R_m$  можно существенно уменьшить, если охлаждать предварительно сжатый водород. На рис.2 показана зависимость энтальпии от температуры для гелия (кривая (1)) при давлении 1 атм и для водорода, сжатого до 25 и 100 атмосфер (соответственно кривые (2) и (3)) [6]. Благодаря интегральному эффекту Джоуля-Томсона вид кривых в интервале от 15 до 70°K существенно изменяется (сравнить с рис.1). Если выбрать весовое отношение потоков  $S_m = 2,56$  (кривая (4)), то можно осуществить охлаждение водорода от 300°K до 15°K в одном теплообменнике, причем на его теплом конце недорекуперация будет равна нулю. Поскольку давление водорода больше критического, то при 15°K он находится в однофазном состоянии и его плотность на 7% больше плотности жидкого водорода при атмосферном давлении, а энтальпии равны [6]. Это означает, что сжатый и охлажденный до 15°K водород после дросселирования до атмосферного давления практически весь перейдет в жидкость. Предварительное сжатие до давления более 25 атмосфер является необходимым, иначе, как

видно из рис.2, чтобы избежать пересечения кривых придется увеличить  $S_m$ . Вследствие этого появится недорегуляция на теплом конце теплообменника.

Величина коэффициента  $S_m$  и его соответствующие выражения  $S_v$  и  $S_g$  также приведены в таблице.

В заключение автор считает приятным долгом выразить благодарность Арустамовой М.Е. и Петросяну А.М. за помощь в подготовке статьи.



Таблица

	L	R	G	S
Весовое отношение потоков $m$	4,08	5,03	2,45	2,56
Отношение объёмов жидкостей $V$	2,31	2,85	1,39	1,45
Отношение объёмов газов при нормальных условиях $g$	2,06	2,55	1,24	1,30

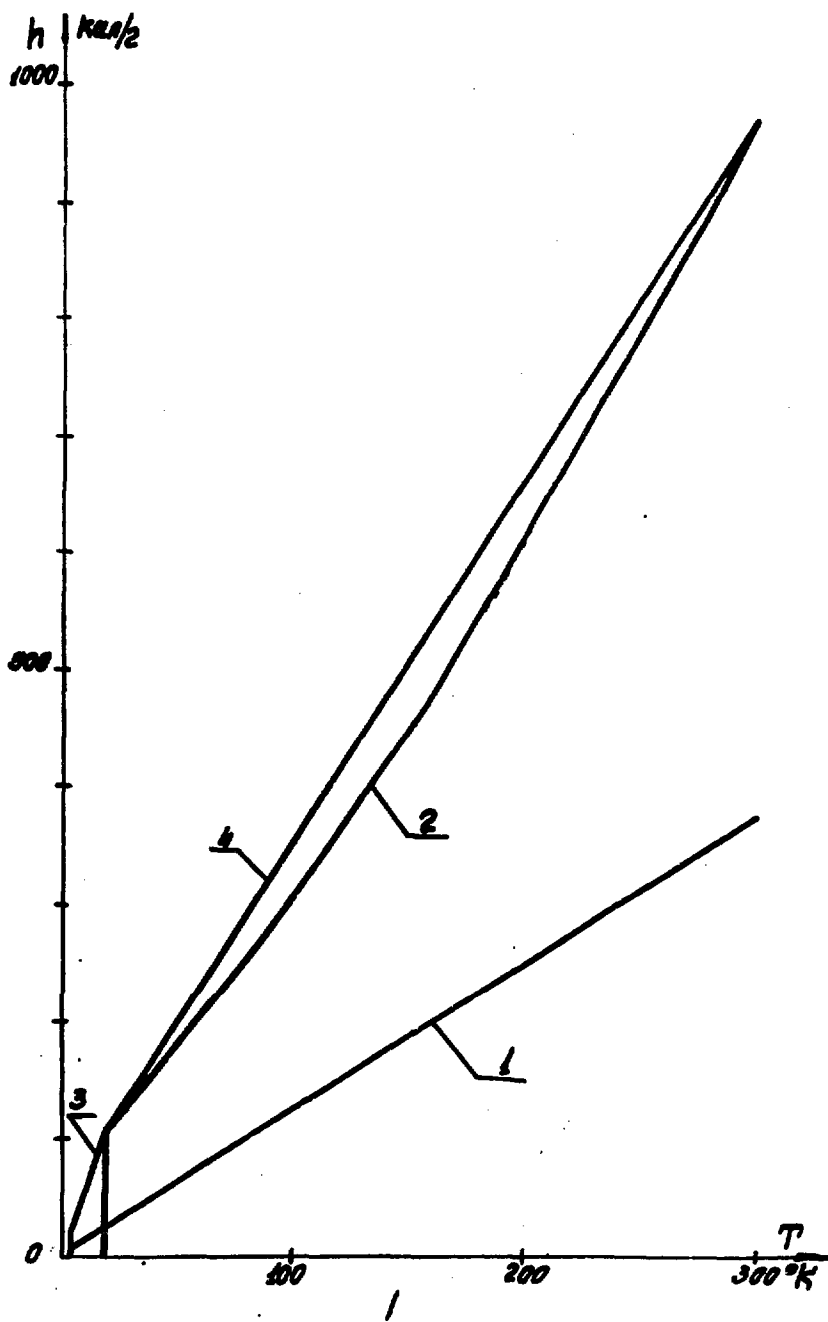


Рис. 1

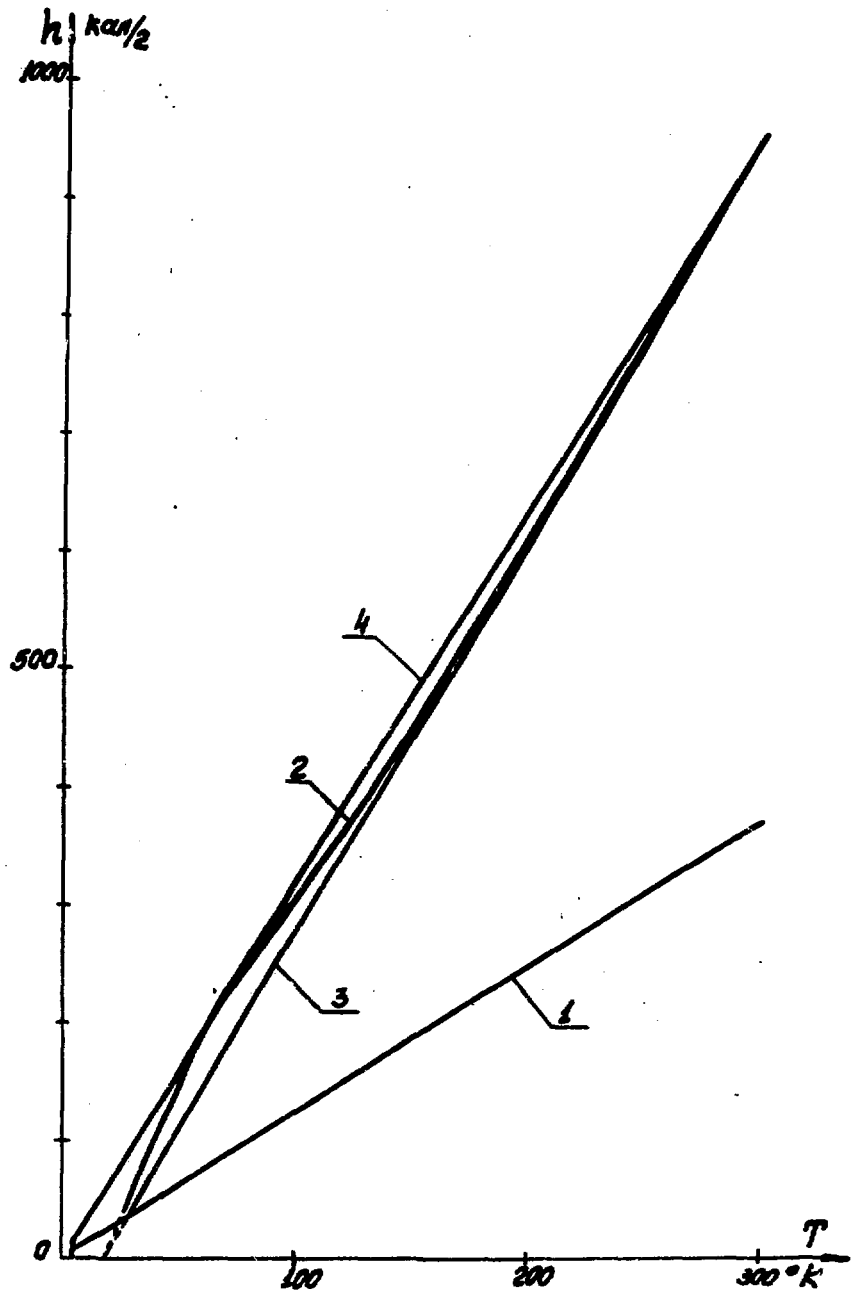


Рис.2

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1** Зависимость энтальпии  $h$  гелия и водорода, находящихся при атмосферном давлении, от температуры  $T$
- Кривая 1 - удельная энтальпия гелия в интервале  $4,2 + 300^{\circ}\text{K}$ .
- Кривая 2 - удельная энтальпия водорода в интервале  $20,4 + 300^{\circ}\text{K}$ .
- Кривая 3 - энтальпия 4,08 г гелия в интервале  $4,2 + 20^{\circ}\text{K}$ ,
- Кривая 4 - энтальпия 2,45 г гелия в интервале  $20,4 + 300^{\circ}\text{K}$ .

- Рис.2** Зависимость энтальпии  $h$  гелия при атмосферном давлении и сжатого водорода от температуры  $T$
- Кривая 1 - удельная энтальпия гелия в интервале  $4,2 + 300^{\circ}\text{K}$ .
- Кривая 2 - удельная энтальпия водорода, сжатого до 25 атм в интервале  $15 + 300^{\circ}\text{K}$ .
- Кривая 3 - удельная энтальпия водорода, сжатого до 100 атм в интервале  $15 + 300^{\circ}\text{K}$ .
- Кривая 4 - энтальпия 2,56 г гелия в интервал  $4, 2 + 300^{\circ}\text{K}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Swenson C.A., Stahl R.H. RSI 25, 603 (1954).
2. Janes G.S., Hyman L.G., Stumski C.J. RSI 27, 527 (1956).
3. Jarmie N. RSI 37, 1670 (1966).
4. Gijzman H.M., P.G.H.G. van Tuijl Griogenics 11, 48  
(1971).
5. Р.Б.Скотт . Техника низких температур. Изд.иностр.  
лит. Москва (1962).
6. Справочник по физико-техническим основам криогени-  
ки . Изд. Энергия , Москва (1973).

Рукопись поступила . 8-го мая 1975г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 331

ВФ- 03990

Тираж 299

Подписано к печати 29/IX-75г. Формат издания 30х40  
0,5 уч.изд.л. Ц.4 к.

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

