

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ԵՐԵՎԱՆՍԿԻ ՓԻԶԻԿԵՍԿԻ ԻՆՏԻՏՈՒՏ

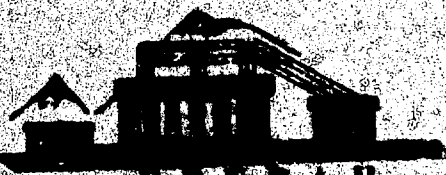
5479 04505

ФФМ-268(61)-77

Կ. Մ. ԱԳԱԲԱՅԱՆ

ՕՋԻՄԻՏԵԼ՝ ՎՈԴՐՈԴԱ ՓՐՈԻՅՎՈԴԻՏԵԼՆՈՍՏՅՈՒ ԸՕ  
2 Լ/ՄՍ, ՐԱՅՏԱԴՈՒՄԻ ԶԱ ՏՇԵՏ ԻՍՓԱՐԵՆՆՅԱ ԼՈՒԶՈՅՈՒ ԴԵԼԻՅԱ

ԱՐՄՍ



ԵՐԵՎԱՆ

1977

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-268(61)-77

К. Ш. АГАБАБЯН

ОЖИЖИТЕЛЬ ВОДОРОДА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ДО  
2 Л/ЧАС, РАБОТАЮЩИЙ ЗА СЧЕТ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

Ереван 1977



## Введение

В экспериментах по физике элементарных частиц широко применяется жидкий водород в качестве рабочего вещества мишени, устанавливаемой на пучке ускорителя. Количество водорода в мишени может быть невелико (1-2 литра). В то же время, по условиям эксперимента, иногда оказывается невозможным обеспечить достаточно хорошую теплоизоляцию объема с жидким водородом. Вследствие этого, теплопритоки к мишени могут достигать значительной величины (10-20 вт) [1]. Примером может служить жидководородная мишень, помещаемая в искровую камеру. Наличие высокого (до 500 кв) напряжения между электродами не позволяет использовать такие традиционные виды изоляции, как металлические экраны, многослойная вакуумная изоляция и высокий вакуум. Другие же виды изоляции, например, пенопласт, приводят к повышенным теплопритокам. Таким образом, возникает задача поддержания уровня жидкого водорода в мишени в условиях повышенного теплопритока в течение достаточно длительных промежутков времени.

Эта задача решается одним из следующих способов.

I. Потери водорода в мишени восполняются из резервуара с жидким водородом большой емкости [1,2,3]. Этот способ, не-

смотря на его простоту, не всегда приемлем из-за необходимости работать с большими количествами жидкого водорода в экспериментальном зале ускорителя.

2. В работе [4] описано применение для ожижения водорода в ЖВМ небольшого механического рефрижератора. Холодопроизводительность его была невелика и составляла 0,35 л. жидкого водорода в час.

3. Ожижение водорода происходит за счет теплообмена с испаряющимся гелием [5]. Этот способ обладает следующими достоинствами:

а) может быть использована замкнутая система циркуляции водорода, причем количество его в системе определяется объемом мишени,

б) не требуется непрерывно работающих блоков очистки водорода. Достаточно однократной очистки при заполнении газгольдера или ресивера,

в) ожижение водорода происходит при давлении газгольдера, причем скорость ожижения регулируется автоматически, в зависимости от потока испаряющегося гелия [6],

г) отсутствие движущихся частей повышает надежность работы, что особенно важно при длительной эксплуатации ожижителя.

Целью настоящей работы является создание ожижителя водорода для ЖВМ в искровой камере производительностью до 2 л/час, работающего за счет отогрева паров жидкого гелия.

Ожижитель водорода, описанный в работе [5], надежно работает при скоростях ожижения водорода, не превышающих 0,3-0,4 л/час. Это обусловлено, по-видимому, конструкцией конденсатора, в котором поверхности теплообмена со стороны

водорода и гелия имеют величину одного порядка. В то же время, как будет показано ниже, коэффициенты теплоотдачи к стенке от гелия и водорода отличаются примерно в 100 раз. По этой причине в данной работе применен конденсатор совершенно другой конструкции, чем в [5] .

### Конструкция ожижителя

Конструкция ожижителя водорода представлена на рис. I.

Ожижитель изготовлен на базе серийного 50 литрового сосуда Двара СД-IIIг. Наружный кожух двара удлинен при помощи цилиндрической вставки и сделан съемным на фланцевом уплотнении. В пространстве между дном гелиевого сборника и нижним фланцем размещен ожижитель водорода. Он состоит из конденсатора (1), предварительного теплообменника (2) и теплового экрана (3).

Конденсатор и экран крепятся к нижнему фланцу (4) при помощи втулок из нержавеющей стали (5,6), которые служат также тепловыми мостами. Центровка конденсатора относительно экрана производится с помощью проволочных растяжек. Предварительный теплообменник (2) крепится к нижнему фланцу с помощью хомутов (7). Экран соединен с азотной ванной медными шинами (8).

Работа ожижителя происходит следующим образом. Жидкий гелий испаряется в ванне (9) под действием нагревателя (10). Образовавшиеся пары гелия по сифонной трубке (11) поступают в конденсатор. В конденсаторе гелий отогревается и выходит по трубке (12). На выходе поток гелия разветвляется: часть его идет через предварительный теплообменник (2), а оставшаяся часть через медный змеевик (3), намотанный на экран. Эта особенность конструкции реализует газовую схему, приведенную на рис. I в работе [6], в которой показано, что для ожижения водо-

рода требуется примерно вдвое больше гелия, чем для его предварительного охлаждения до температуры конденсации. Это позволяет использовать "лишнюю" часть гелиевого потока для охлаждения экрана.

### Конденсатор

Одним из способов интенсификации теплообменных аппаратов является развитие поверхности теплообмена со стороны среды, имеющей меньший коэффициент теплоотдачи. Это достигается с помощью оребрения поверхности. Оценим величину коэффициентов теплоотдачи к стенке со стороны водорода и гелия. Для случая пленочной конденсации по вертикальной трубе коэффициент теплоотдачи водорода к стенке равен [7].

$$\alpha_1^{\text{расч}} = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\tau \rho^2 \lambda^3 g}{\eta H \Delta T}}. \quad (I)$$

Значения  $\alpha_1^{\text{расч}}$  для различных  $\Delta T$ , вычисленные по формуле (I) приведены в таблице I. Там же приведены экспериментальные значения  $\alpha_1^{\text{эксп}}$ , взятые из работы [8]. Сравнение  $\alpha_1^{\text{расч}}$  и  $\alpha_1^{\text{эксп}}$  показывает, что при больших  $\Delta T$  различие между ними мало, что позволяет пользоваться формулой (I).

Коэффициент теплоотдачи от гелия к стенке можно вычислить, пользуясь формулой для пучка труб с круглыми поперечными ребрами [7].

$$Nu = 0,117 (d/s)^{-0,54} (h/s)^{-0,14} Re^{0,72} Pr^{0,35}. \quad (2)$$

Значения  $\alpha_2$ , вычисленные по формуле (2) для различных

значений высоты ребер  $h$  приведены в таблице 2. Как видно из таблицы,  $\alpha_2$ , слабо зависит от высоты ребер  $h$ .

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  отличаются в  $\sim 10^2$  раз. С другой стороны, общий коэффициент теплоотдачи от гелия к водороду равен:

$$K^* = \frac{1}{1/\alpha_1 F_1 + 1/\alpha_2 F_2} \quad (3)$$

Оптимальные условия теплоотдачи достигаются при условии

$$\alpha_1 F_1 = \alpha_2 F_2 \quad (4)$$

Таким образом, в конденсаторе необходимо иметь приблизительно в  $10^2$  раз более развитую поверхность со стороны гелия. (термическое сопротивление стенки в (3) принято равным нулю). Кроме того, для обеспечения нужной поверхности теплообмена, необходимо обеспечить достаточно высокую компактность теплообменника

$$S_T = \frac{F}{V} \quad (5)$$

Конструкция конденсатора, разработанная с учетом вышесказанного приведена на рис.2. Он состоит из 18 концентрически расположенных медных трубок диаметром 16 мм, на которые напаяны мягким припоем медные листы толщиной 0,5 мм. Весь пакет помещен в цилиндрический кожух. Верхний и нижний листы герметически запаяны и закрыты с обеих сторон медными крышками. Тем самым гелиевый объем отделяется от водородного. На рис.2 стрелками показан путь, который проходят водород и гелий внутри конденсатора. В данной конструкции практически вся поверхность конденсатора участвует в теплообмене, причем достигается равномерное

обтекание гелием всех ребер.

#### Предварительный теплообменник и экран

Предварительный теплообменник представляет собой теплообменник типа "труба в трубе". Он состоит из двух вложенных друг в друга и свернутых в спираль тонкостенных нержавеющей трубок диаметром 10,5 мм и 14 мм. По внутренней трубке поступает водород, а по зазору между трубками выходит гелий. Расчетная длина теплообменника в режиме накопления водорода с максимальной производительностью составляет  $\sim 10$  м.

Медный экран (3, рис. I) охлаждается за счет контакта с азотной ванной. С помощью медной трубки (20) он выведен наружу из ожижителя и может быть использован для экранировки сливной трубки и мишени. Расход азота на охлаждение экрана может быть уменьшен пропусканием части гелия через змеевик, намотанный на экран. Режим реализуется при поддержании уровня водорода.

#### Исследование работы ожижителя

При работе ожижителя одновременно происходят два процесса: ожижение водорода и испарение его из конденсатора и мишени за счет внешних теплопритоков. Поэтому истинный поток водорода на ожижение представляет собой сумму двух потоков  $G_{H_2} + G_{H_2}^{\circ}$ , где  $G_{H_2}$  - поток водорода, измеряемый в процессе ожижения,  $G_{H_2}^{\circ}$  - так называемая нулевая испаряемость, представляющая поток водорода, испаряющегося из конденсатора в отсутствие через него потока гелия.

В зависимости от потока гелия  $G_{He}$  ожижитель может работать в двух режимах:

I. Режим накопления водорода. В этом режиме  $G_{H_2} > 0$  (поток направлен внутрь ожижителя)

2. Режим поддержания водорода (баланс). В этом режиме

$G_{H_2} = 0$  , т.е. поток отсутствует.

В процессе исследования измерялись  $G_{He}$  ,  $G_{H_2}$  и  $G_{H_2}^{\circ}$  . Измерения проводились по методике описанной в [5] . По результатам измерений вычислялся коэффициент ожигения водорода

$$K = \frac{G_{He}}{G_{H_2} + G_{H_2}^{\circ}} . \quad (6)$$

Требуемое значение  $G_{He}$  устанавливалось подбором мощности нагревателя. Соответствующее значение  $G_{H_2}$  , устанавливалось автоматически. Величина  $G_{H_2}^{\circ}$  измерялась при закрытом выходе гелия из конденсатора. Результаты измерений приведены в таблице 3. Значения потоков  $G_{He}$  ,  $G_{H_2}$  и  $G_{H_2}^{\circ}$  приведены к нормальным условиям. Как видно из таблицы, ожигитель работает до скоростей ожигения водорода 2 л/час. При малых скоростях ожигения значения  $K$  близки к теоретическому ( $K = 2.55$ ), при больших потоках эффективность ожигения несколько хуже ( $K = 3.2$ ).

В заключение автор выражает благодарность Г.А.Вартапетяну за внимание и интерес к работе, Р.Т.Мина за обсуждение результатов и полезные замечания, М.Е.Арустамовой за помощь в подготовке статьи.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

$z$  - теплота конденсации

$\rho$  - плотность жидкости

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности

$g$  - ускорение силы тяжести

$\eta$  - коэффициент динамической вязкости

$H$  - высота трубы

$\Delta T = T_s - T_w$  - разность между температурой конденсации  
и температурой стенки

$Nu$  - критерий Нуссельта

$d$  - наружный диаметр трубы, несущей ребра

$h$  - высота ребра

$S$  - шаг ребер

$Re$  - критерий Рейнольдса

$Pr$  - критерий Прандтля

$F$  - поверхность теплообмена

$V$  - объем

Таблица 1

$\Delta T$ град	$\alpha_1$ расч. [7] Вт/м <sup>2</sup> град	$\alpha_1$ эксп. [8] Вт/м <sup>2</sup> град
0,306	2600	1005
0,54	2250	1009
0,678	2130	1325
1,095	1890	1490
1,167	1860	1225
1,43	1770	1395
1,955	1630	1435

Таблица 2

$h \cdot 10^2$ м	$\alpha_2$ Вт/м <sup>2</sup> град
1	10,7
2	9,72
3	9,16
4	8,83
5	8,46

Таблица 3

$G_{He}$ л/час	$G_{H_2}$ л/час	$G_{H_2}^{\circ}$ л/час	K
680	-80	320	2,83
720	-60	320	2,77
800	80	205	2,8
1770	260	320	3,06
4800	1000	600	3
6000	1200	700	3,2

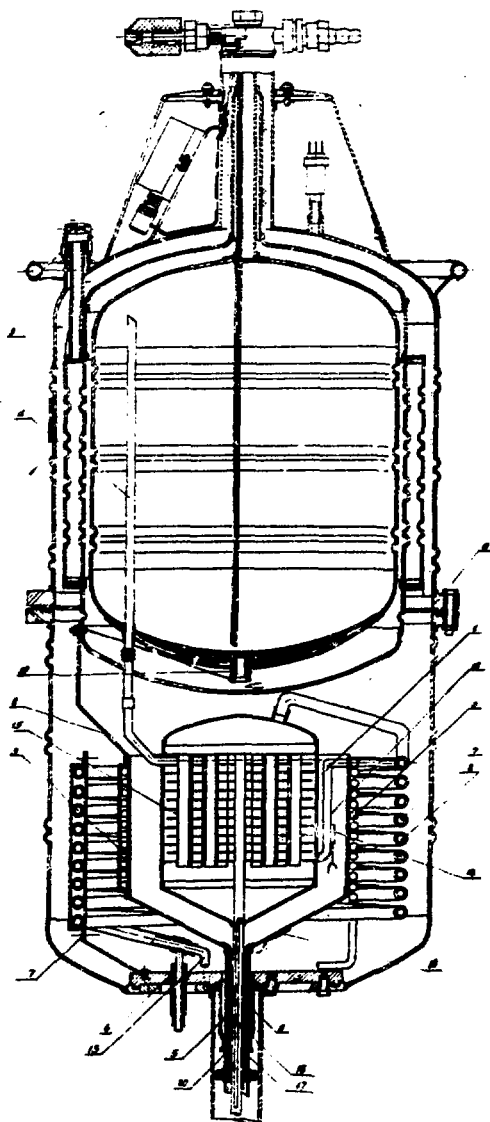


Рис. I Конструкция охладителя водорода

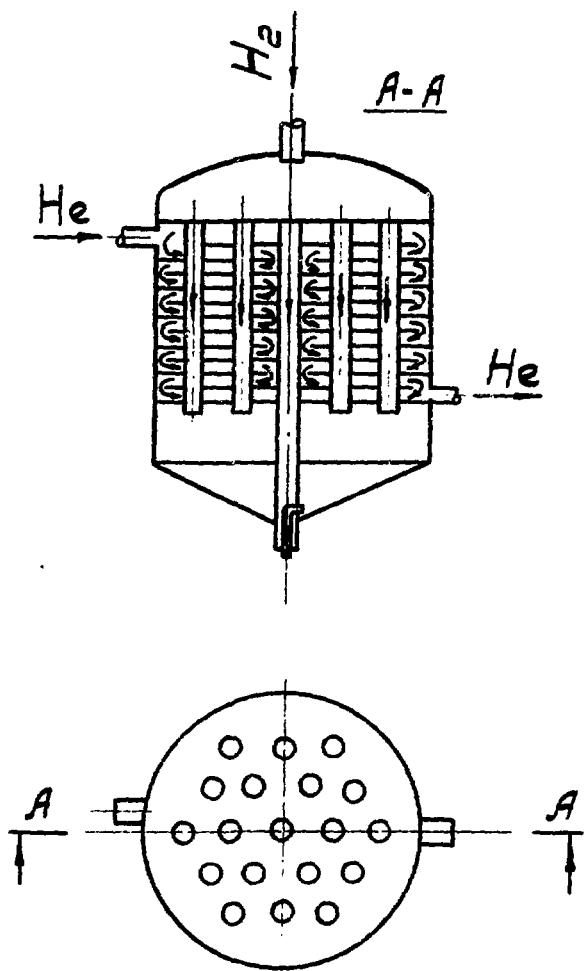


Рис.2 Конструкция конденсатора

## ЛИТЕРАТУРА

1. Proceedings of the First International Conference on Streamer Chamber Technology 1972 ANL-8055 p. 140-149
2. Л.Б.Голованов. ПТЭ 3, 55(1971)
3. Л.М.Васильев, Ю.П.Дмитриевский и др., ИФВЭ СЭФ 71-66
4. Т.Kitami, Y.Akino, S.Kato INS-TH-94(1975)
5. К.Ш.Агабабян, С.Л.Аракелян, Р.Т.Мина, В.К.Яццо, НС ЕФИ-160(76)
6. К.ш.Агабабян, Р.Т.Мина. НС ЕФИ-152(75)
7. Справочник по физико-техническим основам криогеники. Москва, 1973
8. Жидкий водород. Сборник статей, стр.188-209, Москва, 1964.

Рукопись поступила 4 июля 1977 г.



Редактор Л.П.Мукаян  
Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ II77

ВФ-03409

Тираж 299

---

Подписано к печати 26/ХП-77г. . Формат издания 30х40

1,0 уч.изд.л, Ц. 7 к.

---

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван 36, пер. Маркаряна 2

индекс 3624