

20
5-50



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.Г. Зельдович, Ю.К. Пилипенко

1425

КРУПНОЛАБОРАТОРНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ
ВОДОРОДА ВО2, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ БОЛЬШИХ
ЖИДКОВОДОРОДНЫХ КАМЕР

ДТЭ, 1964, №5, с 203-206.

А.Г. Зельдович, Ю.К. Пилипенко

1425

2108/3 чг

КРУПНОЛАБОРАТОРНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ
ВОДОРОДА ВО2, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ БОЛЬШИХ
ЖИДКОВОДОРОДНЫХ КАМЕР

Направлено в ЦТЭ

УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИКИ
И МАТЕМАТИКИ
ИМ. П.А. УЛАНОВА

Дубна 1963

Для снабжения жидким водородом больших жидководородных камер необходим крупнолабораторный ожижитель, позволяющий осуществлять работу в рефрижераторном режиме и предусматривающий получение жидкого параводорода. Производительность такого ожижителя должна составлять величину порядка 200 л/час. Указанный ожижитель был выполнен по схеме, предложенной авторами /1/ и осуществленной на ожижителе меньших размеров /2/, /3/.

Описание ожижителя

В ожижителе (рис. 1) осуществляется холодильный цикл с дросселированием водорода высокого давления и предварительным охлаждением жидким азотом в двух ваннах - при атмосферном давлении и под вакуумом. Для рефрижераторного режима и для получения параводорода в ожижителе предусмотрен промежуточный сборник 10, работающий под давлением до 6 атм, в который дросселируется водород высокого давления. Из сборника 10 неочищенный водород и часть жидкого водорода поступают в основной сборник через пневматический клапан 11. В рефрижераторном режиме жидкий водород забирается из промежуточного сборника 10 к потребителю. Холодный, испарившийся водород возвращается в основной сборник 14, где смешивается с неочищенным водородом. Разница давления между промежуточным и основным сборником, создаваемая клапаном, обеспечивает необходимый напор для преодоления гидравлического сопротивления коммуникаций потребителя.

При получении жидкого параводорода водород из промежуточного сборника поступает в реакторы 12, 14 и в змеевик-конденсатор 13, погруженные в жидкий водород, который находится в основном сборнике. В этом режиме давление в конвертере поддерживается около 4 атм. Ожижитель размещен в двух металлических дьюарах 17 с порошково-вакуумной изоляцией. Дно одного дьюара служит ванной атмосферного жидкого азота, дно другого - основным сборником жидкого водорода. Теплообменники - поперечноточные из трубок $\varnothing 6 \times 1$.

Соображения по выбору схемы получения параводорода

Из общих термодинамических соображений ясно, что при получении параводорода наиболее выгодно подвергать конверсии лишь очищаемый водород и производить конверсию на всех температурных уровнях. Возможен также ряд других, более простых, вариантов. В таблице 1 приводится сравнение различных вариантов по степени

ожижения и расходу энергии. Для расчетов были приняты следующие исходные данные: давление сжатого водорода - $P_{сж} H_2 = 140$ атм, температура предварительного охлаждения - $T_{пред.охл.} = 86^\circ K$, недорекуперация в теплообменниках "холодной" и "средней" зоны 3° , в теплообменнике "теплой" зоны 10° , коэффициент полезного действия компрессоров 0,60, расход энергии на получение жидкого азота $0,77 \frac{квтч}{кгж N_2}$. Расчеты велись по TS диаграммам $NBS^{1/4}$ и Коерре^{1/5}.

Как видно из таблицы 1, размещение катализатора на уровнях 81° и $86^\circ K$ на всем потоке сжатого водорода (2б, 2в) практически не уменьшает расход энергии, а лишь перераспределяет его на получение азотного холода и на сжатие водорода. При осуществлении конверсии на азотном уровне только охлаждаемой доли водорода (2г, 2д) расход энергии снижается на 5-10%. При осуществлении ожижителя по схемам (2г, 2д) его конструкция заметно усложняется из-за необходимости иметь для охлаждаемого водорода отдельные секции во всех теплообменниках и свой дроссельный вентиль.

Основным режимом данного ожижителя является рефрижераторный - получение параводорода должно составлять небольшую долю времени. Поэтому для него выбрана схема с одноступенчатой конверсией при температуре жидкого водорода (2а).

При проектировании реакторов необходимо стремиться, чтобы максимальное количество тепла орто-парапревращения отводилось через стенки реактора. Так, расчеты показывают (рис. 2), что в нашем случае, при отсутствии теплообмена через стенки реактора 1, водород на выходе из него должен был бы не только полностью испариться, но даже нагреться до температуры $T = 37,2^\circ K$, которой соответствует равновесная концентрация $C_p = 90,7\%$ параводорода. Фактический теплообмен в реакторе 1, позволяет иметь температуру водорода на выходе из него не выше $27,3^\circ K$ ($C_p = 97,5\%$ пара - H_2), а следовательно, получать концентрацию параводорода 93-94%.

Для получения параводорода более высокой концентрации (97-98%) за змеевиком-конденсатором включен дополнительный реактор II, работающий в области переохлажденной жидкости, для которой равновесная концентрация параводорода равна $C_p = 99,5\%$. В таблице рис. 2 приводится техническая характеристика и результаты испытаний реакторов. В качестве катализатора использовалась гидроокись железа, необходимый объем которой подсчитывался по ранее предложенной методике^{1/6}.

Перед началом работы катализатор подвергался активации^{1/3} продувкой (через сливной вентиль) теплым водородом ($50^\circ C$) в течение 6 часов со скоростью 25-30 $нм^3/час$.

Результаты обследования ожижителя

1. Количество перерабатываемого сжатого водорода - 725 $нм^3/час$

- | | |
|--|--------------------------------|
| 2. Количество охлаждаемого нормального водорода (внутри ожижителя) | - 230 л/час |
| 3. Степень охлаждения нормального водорода | - 25% |
| 4. Количество охлаждаемого параводорода | - 140 л/час |
| 5. Степень охлаждения параводорода | - 15 % |
| 6. Концентрация параводорода | - 97-98% |
| 7. Расход жидкого азота в атмосферной ванне при охлаждении нормального водорода | - 180 л/час |
| 8. Расход жидкого азота в вакуумной ванне при охлаждении нормального водорода | - 85 л/час |
| 9. Удельный расход азота | - 1,5 л/л.норм. H_2 |
| 10. Давление сжатого водорода | - 125 атм |
| 11. Давление в основном сборнике | - 0,3 атм |
| 12. Вакуум в ванне вакуумного азота | - 630 мм рт.ст. |
| 13. Температура сжатого водорода за ванной вакуумного азота | - $65,3^\circ K$ |
| 14. Недорекуперация в теплообменнике "холодной" зоны (при сливе нормального и параводорода) | - $0,3-0,5^\circ K$ |
| 15. Недорекуперация в теплообменнике "теплой" зоны при сливе нормального водорода при сливе параводорода | - 7°
- 9° |
| 16. Время пуска до начала охлаждения водорода | - 1 час -
- 1 час 10 мин. |
| 17. Время отогрева от рабочего состояния до комнатной температуры | - 2 часа -
- 2 часа 30 мин. |

Для замера температурных режимов теплообменников в ожижителе установлены, разработанные ВНИИФТРИ, 100-омные платиновые термометры сопротивления, обладающие точностью $0,1^\circ$. Места установки термометров отмечены на рис. 1 буквами T_5-T_{11} .

Ожижитель был рассчитан на 900 $нм^3/час$ сжатого водорода. При обследовании подавалось меньшее количество из-за уменьшенной против номинала производительности компрессоров.

Расчеты, сделанные по результатам обследования, показывают, что ожижитель может быть форсирован до 1500 $нм^3/час$ сжатого водорода, что позволит увеличить его производительность до 460 л/час нормального водорода и 280 л/час параводорода. При этом необходимо увеличить размер змеевика в атмосферной ванне жидкого азота и увеличить объем катализатора.

Внешний вид ожижителя вместе с пультом управления показан на рис. 3.

Авторы выражают свою глубокую благодарность Н.К.Зельдович, А.А.Белушкиной, Л.П.Белоноговой, А.А.Демину, Г.Г.Хореву, участвовавшим в проектировании и сборке ожижителя.

Л и т е р а т у р а

1. А.Г.Зельдович, Ю.К.Пилипенко. Способ ожижения водорода и каталитической орто-пара конверсии водорода. Бюллетень изобретений № 19, 18 (1960).
2. А.Г.Зельдович, Ю.К.Пилипенко. Водородный ожижитель производительностью 50 л/ч жидкого водорода. ПТЭ, №2, 185 (1961).
3. А.Г.Зельдович, Ю.К.Пилипенко. Усовершенствование и форсирование водородного ожижителя ВО1. ПТЭ, № 4, стр. 181 (1963).
4. H.W.Wooley, R.B.Scott, F.G.Brickwedde. Res. NBS, v. 41, 379 (1948).
5. W.Коеппе. Kaltetechnik, v. 8, N 9, p. 175 (1956).
6. Р.А.Буянов, А.Г.Зельдович, Ю.К.Пилипенко. "Хим.пром." № 2, 105 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
4 октября 1963 г.

Т а б л и ц а 1

Показатели различных вариантов цикла дросселирования при работе на р-Н₂

№	Наименование	Ожижаемая доля	Расход азота,	Расход энергии на азотн. холод,	Расход энергии на вак. насос,	Расход энергии на сжат. водорода,	Σ расход энергии,
			кг. Ж. р-Н ₂ / атм. % вак. Н ₂ / Σ кол. Н ₂	кг. Ж. р-Н ₂	квтч / кг. Ж. р-Н ₂	квтч / кг. Ж. р-Н ₂	квтч / кг. Ж. р-Н ₂
1.	Предварительное охлаждение осуществляется ванной вакуумного азота с использованием холода откачиваемых паров; конверсии подвергается поток сжатого Н ₂ от 25-55% р-Н ₂ при Т=66°К и ожижаемая доля от 55-98% р-Н ₂ при Т=20°К	0,175	15,3	11,7	1,3	16,3	29,3
2.	Предварительное охлаждение осуществляется атмосферной и вакуумной азотными ваннами, холод паров вакуумного азота не используется. Конверсии подвергается:						
	а) ожижаемая доля от 25-98% р-Н ₂ при Т=20°К	0,149	12,3 / 2,7 / 15,0	11,5	0,22	19,2	30,9
	б) весь поток от 24-42% р-Н ₂ при Т=81°К; ожижаемая доля от 42-98% р-Н ₂ при Т=20°К	0,163	13,5 / 2,6 / 16,1	12,3	0,21	17,6	30,1
	в) весь поток от 25-42% р-Н ₂ при 81°К и от 42-55% р-Н ₂ при Т=66°К; ожижаемая доля от 55-98% р-Н ₂ при 20°К	0,175	13 / 5,2 / 18,2	13,9	0,42	16,3	30,6
	г) ожижаемая доля от 25-42% р-Н ₂ при Т=81°К и от 42-98% р-Н ₂ при Т=20°К	0,163	12 / 2,6 / 14,6	11,2	0,21	17,6	29
	д) ожижаемая доля от 25-42% р-Н ₂ при Т=81°К; от 42-55% р-Н ₂ при Т=66°К и от 55-98% р-Н ₂ при Т=20°К	0,175	11,7 / 2,9 / 14,6	11,2	0,23	16,3	27,7

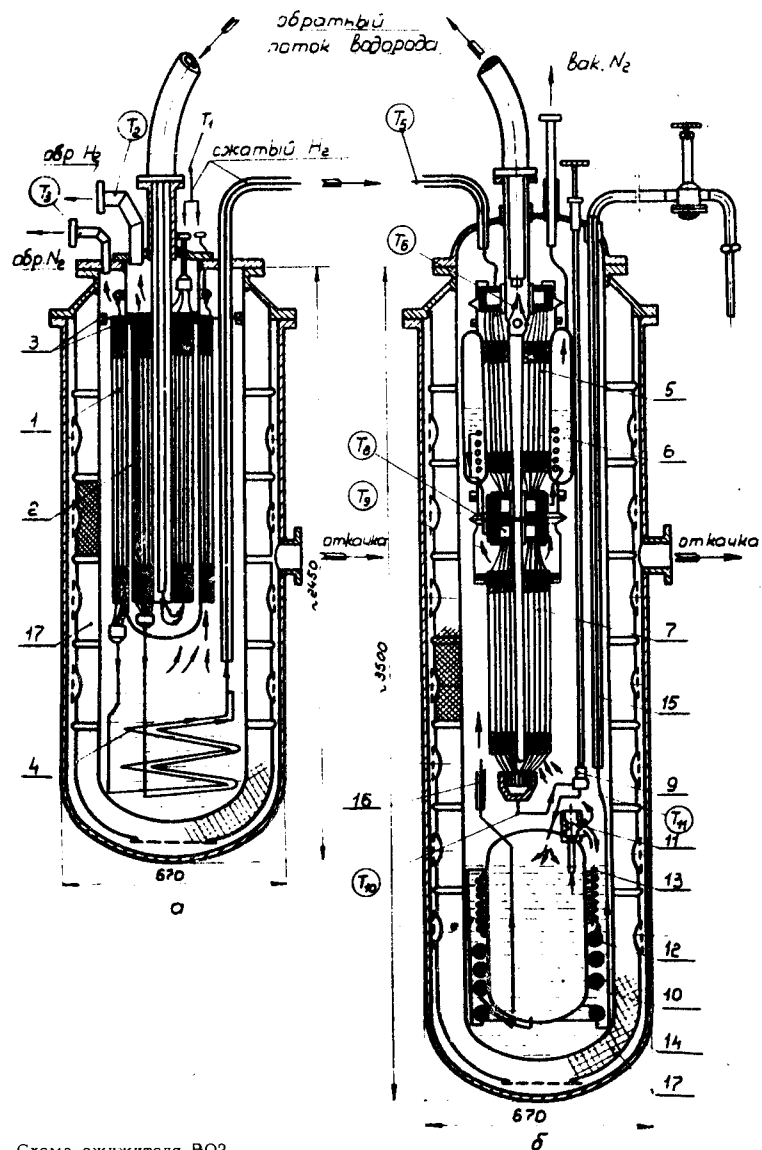


Рис. 1. Схема ожижителя VO₂.

1 - азотная секция теплообменника "теплой" зоны, 2 - водородная секция теплообменника "теплой" зоны, 3 - уплотнение, 4 - змеевик атмосферной ванны жидкого азота, 5 - теплообменник "средней" зоны, 6 - ванна вакуумного азота, 7 - теплообменник "холодной" зоны, 9 - дроссельный вентиль, 10 - промежуточный сборник, 11 - пневматический клапан, 12 - реактор, 13 - змеевик-конденсатор, 14 - дополнительный реактор, 15 - вентиль слива параводорода водорода, 16 - вентиль слива нормального водорода, 17 - дьюар.

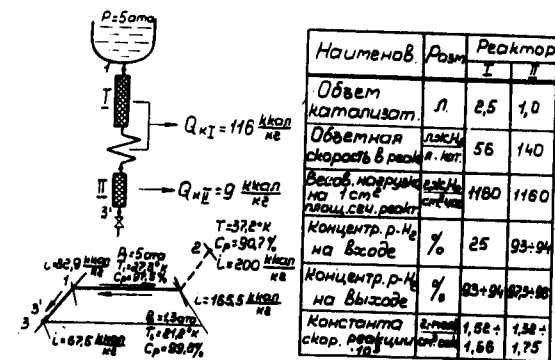


Рис. 2. Схема включения и техническая характеристика реакторов.

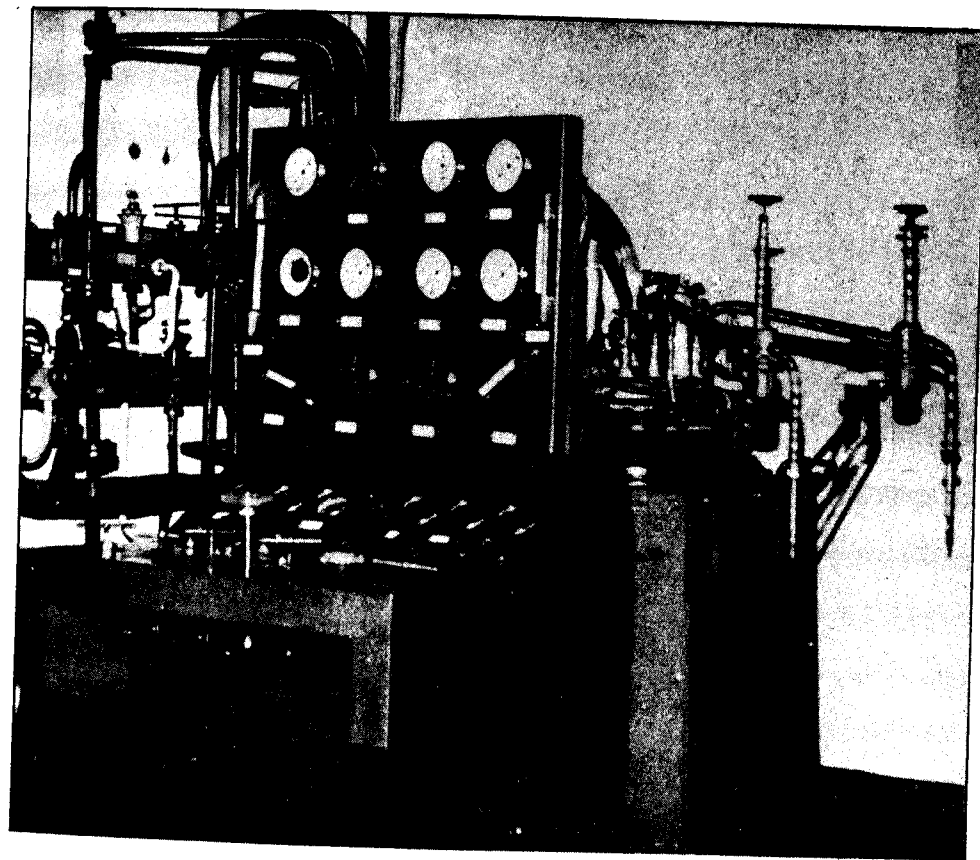


Рис. 3. Внешний вид ожижителя VO₂ с пультом управления.