

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-404(11)-80

К.Ш.АГАБАБЯН, В.Т.ТАТОЯН

ЭФФЕКТИВНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ АРГОНА, РАБОТАЮЩИЙ
ЗА СЧЕТ ИСПАРЕНИЯ АЗОТА

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-404(II)-80

К.Ш. АГАБАБЯН, В.Т. ТАТОЯН

ЭФФЕКТИВНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ АРГОНА, РАБОТАЮЩИЙ ЗА СЧЕТ
ИСПАРЕНИЯ АЗОТА

Ереванский Физический
ИНСТИТУТ
Зал препринтов

Ереван 1980

Жидкий аргон в последние годы находит все более широкое применение в качестве рабочей среды различного рода детекторов ядерных излучений [1-4]. Количество жидкого аргона в таких детекторах может исчисляться десятками и даже сотнями литров, поэтому ожижитель аргона, предназначенный для питания таких устройств должен не только иметь достаточную производительность, но и быть в то же время достаточно экономным. Применение для этой цели холодильных расширительных машин вряд ли целесообразно при больших скоростях ожижения аргона. Так, из данных работы [5] следует, что для получения скоростей ожижения ~5 л/час необходим криогенератор мощностью 14 квт на уровне комнатной температуры. По этой причине там, где требуются большие количества жидкого аргона, его, как правило, ожижают за счет теплообмена с жидким азотом. Термодинамический анализ такого процесса, который мы в дальнейшем будем называть испарительным ожижением, проведен в работе [6]. В работе [6], в частности, показано, что минимальный расход жидкого азота, необходимый для получения 1 л жидкого аргона составляет 1,3 литра, 1 л жидкого кислорода - 1,4 литра. Это отношение в [6] было названо коэффи-

коэффициентом ожигения L_v . Значение L , пересчитанное для отношения объемов газов при нормальных условиях, которое будет использоваться в данной работе, составляет

$$L_g = 1,1 \text{ для } Ar \text{ и } L_g = 1,1 \text{ для } O_2.$$

Таким образом, жидкий азот является весьма подходящим хладагентом для получения жидкого аргона и кислорода. В работах [1-4] не приводятся данные по расходу азота, что не позволяет судить об экономичности приведенных там конструкций. Учитывая, однако, что в работах [1-4] не утилизируется холод, содержащийся в парах азота, а используется только теплота испарения, по-видимому, эффективность этих конструкций не является оптимальной.

Близость точек кипения азота (77 К) и аргона (87 К) приводит к тому, что при ожигении последнего обязательно должна использоваться теплота испарения азота. Это означает, что в ожигителе аргона передача тепла должна происходить от конденсирующегося газа не к газообразному [7], а к жидкому хладагенту. Общий коэффициент теплопередачи при этом определяется коэффициентами теплоотдачи α_1 и α_2 при конденсации и кипении.

Коэффициент теплоотдачи при конденсации α_1 может быть рассчитан по теории Нуссельта по формуле [8]

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

где τ - теплота конденсации, ρ - плотность жидкости, λ - коэффициент теплопроводности, g - ускорение силы тяжести, η - коэффициент динамической вязкости, H - высота трубы, ΔT - разность между температурой конденсации и температурой стенки.

Для $H = 1 \text{ м}$ и $\Delta T = 0,1 + 10 \text{ К}$ $\alpha_1 \sim 2 + 4 \cdot 10^2 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. Теплоотдача при кипении в ограниченном объеме (например, в трубах) носит сложный характер и во многих случаях не поддается расчету [9]. Поэтому при расчетах следует пользоваться опытными данными. Из данных по пузырьковому кипению азота [8] следует, что имеется большой разброс в величине коэффициента теплоотдачи от азота к стенке. Значения удельных тепловых нагрузок, приведенные в [8], лежат в пределах $0,1 + 10 \text{ Вт/см}^2$, при $\Delta T = 1-10 \text{ К}$, что соответствует значениям α_2 , лежащим в пределах $10^3 + 10^4 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, что на порядок больше величины α_1 . Это означает, что температура стенки со стороны конденсирующегося газа будет мало отличаться от температуры хладагента. Учитывая, что температура кипения и затвердевания аргона отличается всего на 4 К (87 К и 83 К), аргон, если не принимать специальных мер, будет замерзать на стенке с образованием льда и ухудшением теплообмена. Этот процесс нами наблюдался экспериментально в специально поставленном для этого опыте. Процесс образования льда прекращался, когда наружная температура слоя льда становилась выше температуры тройной точки аргона, после этого конденсация продолжалась в жидкую фазу. Таким образом, образование льда ставит предел величине теплопередачи. Для того, чтобы увеличить эффективность теплопередачи, т.е. удельный тепловой поток, необходимо развивать поверхность теплоотдачи со стороны среды, имеющей меньший коэффициент теплоотдачи, т.е. аргона. Избежать замерзания аргона можно также, если увеличить температуру азота выше тройной точки аргона путем увеличения давления паров. Для примера укажем, что при $P \approx 3 \text{ атм}$, $T_K^{N_2} \approx 87 \text{ К}$.

С учетом вышесказанного был сконструирован и изготовлен охладитель аргона, рассчитанный на производительность 15 л жидкого аргона в час. Схематический чертеж охладителя и газовая схема представлены на рис. 1. Охладитель состоит из конденсатора 1 и предварительного теплообменника 2, выполненных в виде отдельных блоков.

Конденсатор состоит из ряда коаксиально расположенных труб. Внутренняя трубка из нержавеющей стали служит для заливки жидкого азота. Азотный сборник представляет собой медную трубу диаметром 40 мм, которая в верхней части переходит в тонкостенную нержавеющую трубу диаметром 28 мм. В верхней части конденсатора расположены два штуцера, по которым выходит испаряющийся азот и поступает на конденсацию аргона. Конденсация аргона происходит на поверхности теплообменника, представляющего собой 14 концентрически расположенных медных трубок диаметром 10 мм. Трубки припаяны мягким припоем к медной трубе. Длина каждой трубки около 1 метра. Конденсация происходит как на внутренней, так и на наружной поверхности трубок. Благодаря этому удалось увеличить общую поверхность теплообмена со стороны аргона до $0,8 \text{ м}^2$, в то время, как со стороны азота она составляет $0,12 \text{ м}^2$. Конденсирующийся аргон стекает под действием силы тяжести в сосуд Дьюара [8]. Конструкция конденсатора позволяет уплотнить его непосредственно на горловине стандартного сосуда Дьюара для жидкого азота ёмкостью 15 и 25 литров. Для теплоизоляции конденсатора используется многослойная вакуумная изоляция, состоящая из 30 слоёв металлизированного лавсана и стеклоткани. В нижней части азотного сборника крепится карман с активированным углем. Наружная труба из нержавеющей стали диаметром 90 мм

служит вакуумным кожухом. Откачка кожуха производится через стандартный вентиль потайной откачки. Наружный кожух в нижней части заканчивается фланцем. Это делает всю конструкцию легко-разборной. Ответный фланец имеет штуцер для выхода газообразного аргона.

Предварительный теплообменник 2 предназначен для охлаждения поступающего в конденсатор аргона от комнатной температуры до температуры конденсации встречными парами испаряющегося азота. Он состоит из двух коаксиально расположенных трубок диаметром 10 и 18 мм. По внутренней медной трубке подается аргон, а по зазору между трубками выходит азот. Теплообменник состоит из трех частей, соединенных последовательно. Длина каждой части 1,5 м. Отдельные части теплообменника соединены с помощью тройников. Вся конструкция теплоизолирована кожухом из пенополистирола 3.

На рис. 1 приведена также газовая схема, иллюстрирующая работу охладителя. Газообразный аргон поступает на охлаждение само-теком под действием разрежения, возникающего в конденсаторе при охлаждении газа. Этот режим рассмотрен в работе [10], где показано, что в режиме самотека должно поддерживаться постоянным давление на входе в охладитель. При подаче газа из газгольдера это условие выполняется автоматически, поэтому при малых скоростях охлаждения (до 4 л/час) для подачи газа использовался газгольдер. Количество охлажденного газа подсчитывалось по убыли газа из газгольдера, количество испаренного азота — с помощью газового счетчика, либо с помощью измерительного газгольдера. Давление азота в охладителе устанавливалось и поддерживалось с помощью системы вентиля и манометров, имею-

щихся на азотном танке.

При больших скоростях оживания (> 4 л/час) невозможно пользоваться газгольдером из-за его инерционности. Приходилось поэтому подавать газ непосредственно из баллона. Расход газа продолжали увеличивать до тех пор, пока происходила конденсация всего поступающего газа. Таким образом устанавливался рабочий диапазон работы оживителя. Количество оживленного газа подсчитывалось по убыли давления в баллоне. В процессе измерений снималась зависимость количества оживленного аргона G_2 от расхода азота G_1 . Из этих данных определялся коэффициент оживания [7]

$$L_g = \frac{G_1}{G_2 + G_2^0} \quad (2)$$

где G_2^0 - поток аргона при $G_1 = 0$.
 Значение L_g вычислялось методом наименьших квадратов по наклону прямой $G_2(G_1)$. Результаты измерений приведены на рис.2. Из рис.2 видно, что средний коэффициент оживания во всем интервале работы оживителя составляет $L_g = 1,26 \pm 0,07$, что неплохо согласуется с расчетной величиной $L_g = 1,1$. При малых скоростях оживания это согласие еще лучше. На этом же рисунке приведены данные по конденсации аргона, снятые без предварительного теплообменника. Полученное при этом значение $L_g = 2,95 \pm 0,3$ наглядно иллюстрирует роль предварительного теплообменника.

На рис.2 приведены также результаты оживания с помощью данного оживителя кислорода ($T_K = 91$ К). В качестве хладагента использовался жидкий азот. Среднее значение коэффициента оживания для кислорода составляет 1,3 при расчетном значении 1,1.

ВЫВОДЫ

1. Изготовлен эффективный оживитель аргона производительностью до 15 л/час, работающий за счет испарения жидкого азота.
2. Измерен коэффициент оживания аргона за счет азота. Изменное значение коэффициента оживания мало отличается от расчетного.
3. Показана пригодность оживителя для оживания кислорода.

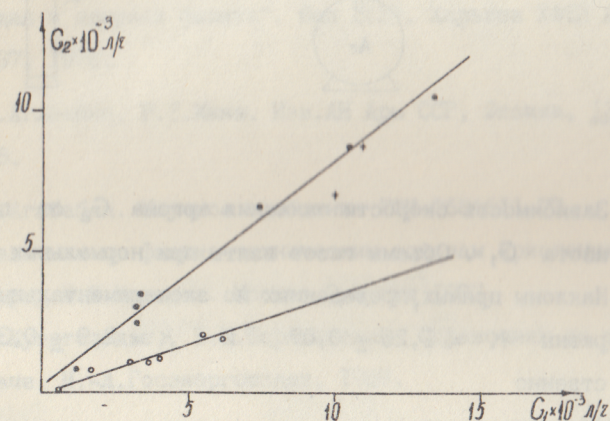


Рис.1 Схематический чертеж и газовая схема оживителя аргона.
 1-конденсатор, 2-предварительный теплообменник,
 3-теплоизоляция, 4-газовый счетчик, 5-газгольдер,
 6-баллон, 7-танк с жидким азотом, 8-сосуд Дьюара.

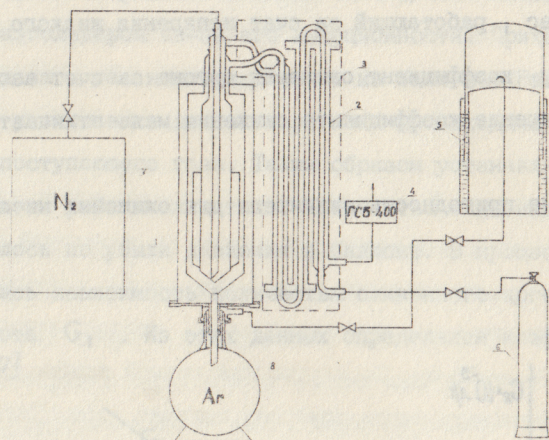


Рис.2 Зависимость скорости оживания аргона G_2 от потока азота G_1 . Объемы газов взяты при нормальных условиях. Наклоны прямых, проведенных по экспериментальным точкам, равны $K = 1,26 \pm 0,07$ и $K = 2,9 \pm 0,3$, соответственно

- - данные для Ar с предварительным теплообменником
- - " - Ar без предварительного теплообменника
- + - данные для O_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. S.E.Derenzo et al. NIM 122, 319 1974
2. W.J.Willis, V.Radeka NIM 120, 221 1974
3. C.W.Tabjan et al. NIM 141, 61,1977
4. C.Cerry, F.Sergiampietry NIM, 141, 207, :1977
5. Ю.В.Холод и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия "Общая и ядерная физика". Вып 2(2). Харьков ХФТИ АН УССР, 30-37, 1978.
6. К.Ш.Агабабян, Р.Т.Мина. Изв.АН Арм ССР, Физика, 13,5,413 1978.
7. К.Ш.Агабабян. Научное сообщение ЕФИ-268(61)-77
8. Справочник по физико-техническим основам криогеники. Под.ред.М.П.Малкова. Москва.Энергия 1973.
9. С.С.Кутателадзе, В.М.Боришанский. Справочник по теплопередаче. М.-Л.Госэнергоиздат, 1959.
10. К.Ш.Агабабян, Р.Т.Мина. Научное сообщение ЕФИ-162(75).

Рукопись поступила 2-го февраля 1980 г.

