

УДК 621.59

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОГО НЕОНА ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Б. Фрадков

Рассмотрены возможности применения в низкотемпературных исследованиях жидкого неона, который в ряде случаев может быть эффективно использован вместо жидкого водорода и гелия.

При физических исследованиях в области криогенных температур¹ охлаждение и термостатирование объектов исследования удобнее всего производить с помощью так называемых криогенных жидкостей, представляющих собой сжиженные газы с температурами кипения ниже 120 К. До последних лет из почти десятка имеющихся криогенных жидкостей для целей охлаждения повсеместно применялись только жидкие азот и гелий и изредка – жидкий водород. Другие криогенные жидкости (полный список приведен в [1]) по разным причинам (токсичность, химическая активность, трудность приобретения и т.п.) как хладагенты почти не используются. Из криогенных жидкостей, пригодных для обеспечения низкотемпературных исследований, особого внимания заслуживает жидкий неон, обладающий рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными хладагентами – жидкими азотом и гелием.

Жидкий азот, являясь наиболее дешевым и широко доступным хладагентом, имеет относительно высокую температуру кипения, что позволяет использовать его только в верхней области криогенных температур (выше 63 К). С помощью жидкого водорода можно охлаждать исследуемые объекты до более низких температур, но он неудобен тем, что газообразный водород образует с кислородом воздуха взрывоопасную смесь в широком интервале концентраций (от 4 до 75% H_2).

¹К криогенным температурам относятся температуры ниже 120 К.

Жидкий гелий позволяет получать криогенные температуры вплоть до 0.3 К, но он обладает очень малой теплотой испарения, что затрудняет обращение с ним и усложняет необходимую аппаратуру для его использования. К тому же жидкий гелий, несмотря на большие масштабы производства газообразного гелия, весьма дорог.

Наиболее перспективным криоагентом ближайшего будущего вероятнее всего будет жидкий неон, имеющий температуры кипения, близкие к водородным, а теплоты испарения – близкие к азотным.

Неон – одноатомный инертный газ, атомный вес 20.183, плотность при нормальных условиях 0.9 кг/м^3 . В атмосферном воздухе, единственном источнике неона, его объемное содержание относительно мало – всего $1.8 \cdot 10^{-3}\%$, но общий запас неона в атмосфере Земли достаточно велик и оценивается в $63.5 \cdot 10^9 \text{ тонн}$. Неон начинает переходить в жидкое состояние при температуре 44.4 К (критическая точка), а замерзает при 24.55 К (тройная точка). Физические характеристики неона в сравнении с традиционными хладагентами приведены в табл. 1 [1].

Т а б л и ц а 1

Свойства некоторых хладагентов

Криоагент	Нормальная температура кипения, К	Плотность жидкости, г/л	Теплота испарения, кДж/л	Температурный интервал существования жидкости, К
Азот	77.3	808	160	126 – 63
Водород	20.4	71	32	33 – 14
Гелий	4.2	125	2.6	5.2 – 0
Неон	27.2	1206	103	44.4 – 24.5

К преимуществам жидкого неона как хладагента относятся: большая теплота испарения на единицу объема жидкости (в 3.2 раза больше, чем у водорода и почти в 40 раз больше, чем у гелия); более длительное, чем у других криогенных жидкостей, время хранения при одинаковых условиях; химическая инертность и взрывобезопасность по сравнению с водородом; относительно простая технология получения и использования.

Единственным препятствием для широкого применения жидкого неона в настоящее время является высокая стоимость газа, связанная с очень малым объемом его производства. Газообразный неон получают как побочный продукт при промышленном производстве кислорода и азота из воздуха криогенными методами. Сейчас накапливающаяся в воздухоразделительных установках неконденсирующаяся неонов-гелиевая

смесь в большинстве случаев просто выбрасывается в атмосферу, чтобы не затруднять основной процесс. Установкой на воздуходелительных агрегатах несложных дополнительных аппаратов может быть налажено получение жидкого неона по вполне приемлемым ценам. Это уже сделано в крупной воздуходелительной установке КТ-70М, серийно изготавливаемой нашей промышленностью [2]. Получение жидкого неона ведется на установках, по схеме и устройству аналогичных ожижителям водорода [3]. Практический расход энергии для получения 1 л жидкого неона составляет 3.0 – 3.4 кВт · ч в зависимости от размера установки.

Хранение и перевозка жидкого неона производится в стандартных сосудах типа СТГ, выпускаемых промышленными фирмами для жидких гелия и водорода. В этих сосудах (они имеют емкость от 10 до 100 л) жидкий гелий хранится до полного испарения 2.5 – 3.5 месяца, нормальный жидкий водород – 1 – 1.5 месяца, жидкий параводород – 9 месяцев, а жидкий неон – более двух лет.

Исследования объектов в жидком неоне можно производить в криостатах без дополнительного охлаждения жидким азотом, как это необходимо в случае работы с жидким гелием. Применение жидкого неона вместо жидкого водорода позволяет увеличить время непрерывной работы без подливки криоагента в несколько раз.

Благодаря высокой плотности и значительной теплоте испарения перелив неона из одного сосуда в другой с помощью сифона, а также заполнение криостатов жидкостью никаких трудностей не вызывают.

При вакуумной откачке неон быстро затвердевает, так как его температура в тройной точке всего на 2.6 градуса ниже нормальной температуры кипения, а соответствующее давление паров равно 323.5 мм рт.ст. Использование теплоты плавления неона увеличивает низкотемпературную разность энтальпий в области низких температур на 20%.

Таким образом, для низкотемпературного охлаждения любых объектов в интервале от 44 до 24 К наилучшим средством по всем показателям является жидкий неон. По-видимому, его производство будет расти, и в будущем он может стать второй по распространенности (после жидкого азота) криогенной жидкостью, если не требуются температуры ниже 20 К.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Справочник по физико-техническим основам криогеники. Изд. 3-е, Энергоатомиздат, М., 1985.
- [2] Криогенное оборудование. Каталог. Москва, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988, с. 14.
- [3] Ф р а д к о в А. Б. Что такое криогеника. Наука, М., 1991.

Поступила в редакцию 27 октября 1993 г.