

УДК 602

СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ

Кулаков В.М., Мосевич С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

Сжижение газов - переход вещества из газообразного состояния в жидкое. Всякий газ может быть переведён в жидкое состояние, но необходимы определённые условия для этого. Сжиженный газ получают предварительным охлаждением его до температуры ниже критической (T_k) и последующей конденсацией в результате отвода теплоты парообразования (конденсации). Охлаждение газа ниже T_k необходимо для достижения области температур, при которых газ может сконденсироваться в жидкость (при $T > T_k$ жидкость существовать не может). Впервые аммиак был сжижен в 1792 г. голландским физиком М. ван Марумом. У каждого газа своя критическая температура.

Таблица 1 – Значения температур кипения, критических температур и работ сжижения

Газ	T_{kin}, K	T_k, K	$L_{min}, kВт \cdot ч/кг$	$L_0, kВт \cdot ч/кг$
Азот	77,4	126,2	0,220	1,2-1,5
Водород	20,4	33,0	3,31	15-40
Кислород	90,2	154,2	0,177	1,2-1,4
Воздух	78,8	132,5	0,205	1,25-1,5
Гелий	4,2	5,3	1,93	15-25
Аргон	87,3	150,7	0,134	0,8-0,95
Неон	27,1	44,5	0,37	3-4
Пропан	231,1	370,0	0,04	до 0,08
Этилен	169,4	282,6	0,119	до 0,3
Метан	111,7	191,1	0,307	0,75-1,2

Для достижения столь низких критических температур газов используют в основном следующие методы: испарение жидкостей; адиабатическое расширение газа с совершением внешней работы; использование эффекта Джоуля – Томсона. Применяются также различные охлаждающие смеси. Так, путем смешивания поваренной соли со снегом можно получить температуру ниже минус $20^{\circ}C$, а смешиванием хлороформа или эфира с твердой углекислотой - минус $77^{\circ}C$.

Метод испарения жидкостей. При испарении жидкость покидают наиболее быстрые молекулы, вследствие чего средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается, и тело охлаждается. По принципу испарения жидкостей работают домашние холодильники. В качестве примера рассмотрим принцип работы парокомпрессионной холодильной машины. В этой холодильной машине для получения охлаждения используется испарение низкокипящих жидкостей. Основными элементами машин этого типа являются: испаритель, холодильный компрессор, конденсатор, теплообменник, терморегулирующий вентиль. В парокомпрессионной холодильной машине осуществляется замкнутый цикл циркуляции хладагента. В испарителе хладагент кипит (испаряется) при пониженном давлении и низкой температуре. Необходимая для кипения теплота отнимается от охлаждаемого тела, вследствие чего его температура понижается (вплоть до температуры кипения хладагента). Образовавшийся пар отсасывается компрессором, сжимается в нем до давления конденсации и подается в конденсатор, где охлаждается водой или воздухом. Вследствие отвода теплоты от пара он конденсируется. Полученный жидкий хладагент через терморегулирующий вентиль, в котором происходит снижение его температуры и давления, возвращается в испаритель для повторного испарения, замыкая, таким образом, цикл работы машины. Первая парокомпрессионная холодильная машина, работавшая на эфире, была построена Дж. Перкинсом (Англия, 1834 г.). В 1874 году К. Линде (Германия) построил аммиачную

парокомпрессионную холодильную машину, которая положила начало холодильному машиностроению.

Метод адиабатического расширения газа. Адиабатическим процессом называется процесс, происходящий без подвода и отвода теплоты. Данный метод основан на использовании расширительной машины – детандера. Термодинамически наиболее эффективным является метод сжижения газа с помощью детандера; этот метод в промышленных установках является основным. В поршневых детандерах сжатый газ движет поршень и охлаждается, в турбодетандерах - вращает турбину. В большинстве случаев после детандера газ дополнительно охлаждают дросселированием. Процесс расширения газа в детандере: $S = \text{const}$.

Эффект Джоуля – Томсона. Эффект Джоуля – Томсона состоит в изменении температуры газа в результате медленного протекания газа под действием постоянного перепада давления сквозь дроссель – локальное препятствие газовому потоку, например, пористую перегородку на пути потока. Газ совершает внешнюю работу – последующие слои газа проталкивают предыдущие, а над самим газом совершают работу силы внешнего давления, обеспечивающие стационарность потока.

Сжиженные газы находят широкое применение в технике. Азот идёт для получения аммиака и азотных солей, употребляемых в сельском хозяйстве для удобрения почвы. Аргон, неон и другие инертные газы используются для наполнения электрических ламп накаливания, а также газосветных ламп. Наибольшее применение имеет кислород. В смеси с ацетиленом или водородом он даёт пламя очень высокой температуры, применяемое для резки и сварки металлов. Вдувание кислорода (кислородное дутьё) ускоряет металлургические процессы. Доставляемый из аптек в подушках кислород действует как обезболивающее средство. Особенно важным является применение жидкого кислорода в качестве окислителя для двигателей космических ракет. Жидкий водород используется как топливо в космических ракетах. Жидкий аммиак нашёл широкое применение в холодильниках – огромных складах, где хранятся скоропортящиеся продукты. Охлаждение, возникающее при испарении сжиженных газов, используют в рефрижераторах при перевозке скоропортящихся продуктов. Газы, применяемые в промышленности, медицине, легче перевозить, когда они находятся в сжиженном состоянии, так как при этом в том же объёме заключается большее количество вещества. Подвергаемые сжижению газы должны очищаться от паров воды, масла и других примесей (например, воздух — от углекислоты, водород — от воздуха), которые при охлаждении могут затвердеть и закупорить теплообменную аппаратуру. Поэтому узел очистки газа от посторонних примесей — необходимая часть установок по сжижению газа.

Литература

1. Бондарев Б.В. Курс общей физики. В 3 кн. Кн. 3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества: учеб пособие / Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирин. - 2-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2005. - 366 с.
2. Матвеев, А.Н. Курс общей физики: в 5 т. / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1976-1989. – Т. 2: Молекулярная физика.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: учеб. пособие для втузов: в 3 т. / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – 432 с.
4. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для физ. спец. вузов: в 5 т. / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1990. – Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. – 591 с.
5. Тюрин Ю.И. Ч.1. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учеб. пособие для технических университетов / Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов, Ю.Ю. Крючков. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. - 502 с.